DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Fünfzehnter Jahrgang | 25. März 1927 | Heft 12

Newtons Mechanik und ihr Einfluß auf die Gestaltung der theoretischen Physik.

Von Albert Einstein, Berlin.

In diesen Tagen werden es zweihundert Jahre, daß Newton die Augen geschlossen hat. Da ist es Bedürfnis, dieses leuchtenden Geistes zu gedenken, der wie kein anderer vor und nach ihm dem abendländischen Denken, Forschen und praktischen Gestalten die Wege gewiesen hat. Er war nicht nur ein genialer Erfinder einzelner führender Methoden, sondern er beherrschte auch das zu seiner Zeit bekannte empirische Material in einzigartiger Weise, und er war wunderbar erfinderisch bezüglich der mathematischen und physikalischen Beweisführung im einzelnen. Aus all diesen Gründen ist er unserer hohen Verehrung würdig. Diese Gestalt bedeutet aber dadurch noch mehr, als es der ihr eigenen Meisterschaft entspricht, daß sie vom Schicksal an einen Wendepunkt der Geistesentwicklung gestellt wurde. Um dies lebhaft zu sehen, müssen wir uns vergegenwärtigen, daß es vor Newton kein geschlossenes System physikalischer Kausalität gab, das irgendwie tiefere Züge der Erfahrungswelt wiederzugeben vermochte.

Wohl hatten die großen Materialisten des griechischen Altertums gefordert, daß alles materielle Geschehen auf einen streng gesetzlichen Ablauf von Atombewegungen zurückgeführt werden solle, ohne daß dabei von lebendigen Geschöpfen Gewolltes als selbständige Ursache auftritt. Wohl hatte Descartes in seiner Weise dies Ziel wieder aufgegriffen. Aber dies blieb ein kühner Wunsch, das problematische Ideal einer Philosophenschule. Tatsächliche Erfolge, welche das Vertrauen in die Existenz einer lückenlosen physikalischen Kausalität hätten stützen können, existierten vor Newton kaum.

Newtons Ziel war die Beantwortung der Frage: Gibt es eine einfache Regel, nach welcher man die Bewegung der Himmelskörper unseres Planetensystems vollständig berechnen kann, wenn der Bewegungszustand aller dieser Körper in *einem* Zeitpunkte bekannt ist? Kepler aus Tycho de Brahes Beobachtungen ermittelte empirische Gesetze über die Planetenbewegung lagen vor und forderten zu einer Deutung heraus[1]). Diese Gesetze gaben zwar eine vollständige Antwort darauf, *wie* sich die Planeten um die Sonne bewegen (Ellipsenform der Bahn, gleiche Radienflächen in gleichen Zeiten, Beziehung zwischen großen Halbachsen und Umlaufszeiten). Aber diese Regeln befriedigen doch nicht das Kausalitätsbedürfnis. Es sind drei logisch voneinander unabhängige Regeln, welche jeden inneren Zusammenhang vermissen lassen. Das dritte Gesetz läßt sich zahlenmäßig nicht ohne weiteres auf einen anderen Zentralkörper als die Sonne übertragen (es besteht z. B. keine Beziehung zwischen der Umlaufszeit eines Planeten um die Sonne und zwischen der Umlaufszeit eines Mondes um seinen Planeten). Das Wichtigste aber ist: Diese Gesetze beziehen sich auf die Bewegungen als Ganzes und nicht darauf, *wie aus einem Bewegungszustand eines Systems der zeitlich unmittelbar folgende hervorgeht*, es sind — in unserer heutigen Sprechweise — Integralgesetze und nicht Differentialgesetze.

Das Differentialgesetz ist diejenige Form, welche allein das Kausalitätsbedürfnis des modernen Physikers voll befriedigt. Die klare Konzeption des Differentialgesetzes ist eine der größten geistigen Taten Newtons. Nicht nur der Gedanke war nötig, sondern auch ein mathematischer Formalismus, der zwar in Rudimenten vorhanden war, aber eine systematische Form gewinnen mußte. Auch diesen fand Newton in der Differential- und Integralrechnung. Dabei mag unerörtert bleiben, ob Leibniz unabhängig von Newton auf dieselben mathematischen Methoden gekommen ist oder nicht; jedenfalls war ihre Entwicklung für Newton eine Notwendigkeit, indem sie zu Newtons Gedanken erst die Ausdrucksmittel zu liefern hatten.

Einen bedeutungsvollen Anfang in der Erkenntnis des Bewegungsgesetzes hatte bereits Galilei gemacht. Er fand das Trägheitsgesetz und das Gesetz des freien Falles im Schwerefelde der Erde: Eine von anderen Massen nicht beeinflußte Masse (genauer: materieller Punkt) bewegt sich gleichförmig und in gerader Linie. Die Vertikalgeschwindigkeit eines freien Körpers wächst im Schwerefelde gleichmäßig mit der Zeit. Für uns mag es heute scheinen, daß von Galileis Erkenntnissen bis zum Newtonschen Bewegungsgesetze nur mehr ein kleiner Schritt sei. Es ist jedoch zu bemerken, daß die beiden obigen Aussagen sich der Form nach auf die Bewegung als Ganzes beziehen, während Newtons Bewegungsgesetz eine Antwort auf die Frage gibt: Wie ändert sich der Bewegungszustand eines Massenpunktes *in einer unendlich kurzen Zeit* unter dem Einfluß einer äußeren Kraft. Erst durch Übergang zur Betrachtung des Vorganges während einer unendlich kurzen Zeit (Differentialgesetz) gelangt Newton zu einer Formulierung, welche für beliebige Bewegungen

[1]) Jeder weiß heute, was für ein Riesenfleiß dazu gehörte, diese Gesetze aus den empirisch ermittelten Bahnen zu finden. Aber wenige nur überlegen sich die geniale Methode, nach welcher Kepler die wahren Bahnen aus den scheinbaren, d. h. aus von der Erde aus beobachteten Richtungen, ermittelte.

gilt. Den Begriff der Kraft übernimmt er aus der bereits hoch entwickelten Statik. Verknüpfung von Kraft und Beschleunigung sind ihm nur möglich durch Einführung des neuen Begriffes der Masse, der allerdings merkwürdigerweise durch eine Scheindefinition gestützt wird. Wir sind heute so gewöhnt an die Bildung von Begriffen, die Differentialquotienten entsprechen, daß wir kaum mehr ermessen können, was für ein bedeutendes Abstraktionsvermögen dazu gehörte, um durch einen doppelten Grenzübergang zum allgemeinen Differentialgesetze der Bewegung zu gelangen, wobei noch der Begriff der Masse erfunden werden mußte.

Damit war aber noch lange kein kausales Erfassen von Bewegungsvorgängen gewonnen. Denn durch die Bewegungsgleichung war ja die Bewegung nur dann bestimmt, wenn die Kraft gegeben war. NEWTON hatte, angeregt durch die Gesetzmäßigkeiten der Planetenbewegung, den Gedanken, daß die auf eine Masse wirkende Kraft bestimmt sei durch die Lage aller Massen, welche sich in hinreichend geringer Entfernung von der betrachteten Masse befinden. Erst wenn dieser Zusammenhang bekannt war, war eine restlose kausale Erfassung von Bewegungsvorgängen gewonnen. Wie NEWTON — ausgehend von den KEPLERschen Gesetzen der Planetenbewegung — diese Aufgabe für die Gravitation löste und so die Wesenseinheit der auf die Gestirne wirkenden bewegenden Kräfte und der Schwere auffand, ist allgemein bekannt. Erst die Gemeinschaft

(Bewegungsgesetz) + (Attraktionsgesetz)

macht das wunderbare Gedankengebäude aus, welches aus dem zu *einer* Zeit herrschenden Zustande eines Systems die früheren und die späteren Zustände zu berechnen gestattet, insoweit die Vorgänge unter der Wirkung der Gravitationskräfte allein stattfinden. Die logische Geschlossenheit des NEWTONschen Begriffssystems lag darin, daß als Ursachen der Beschleunigung der Massen eines Systems nur diese Massen selbst auftreten.

Auf Grund der skizzierten Basis gelang es NEWTON, die Bewegungen der Planeten, Monde, Kometen bis in feine Einzelheiten zu erklären, ferner Ebbe und Flut, die Präzessionsbewegung der Erde, eine deduktive Leistung von einzigartiger Großartigkeit. Besonders wunderbar mußte auch die Erkenntnis wirken, daß die Ursache der Bewegungen der Himmelskörper identisch ist mit der uns aus der alltäglichen Erfahrung so geläufigen Schwere.

Die Bedeutung von NEWTONS Leistung lag aber nicht nur darin, daß sie eine brauchbare und logisch befriedigende Grundlage für die eigentliche Mechanik schuf, sondern sie bildete bis zum Ende des neunzehnten Jahrhunderts das Programm jeglichen theoretisch-physikalischen Forschens. Alles physikalische Geschehen sollte zurückgeführt werden auf Massen, die NEWTONS Bewegungsgesetz unterworfen sind. Lediglich das Kraftgesetz mußte erweitert, dem in Betracht kommenden Typus des Geschehens angepaßt werden. NEWTON selbst versuchte eine Anwendung dieses Programms in der Optik, indem er das Licht als aus trägen Korpuskeln bestehend voraussetzte. Auch die Optik der Undulationstheorie bediente sich des NEWTONschen Bewegungsgesetzes, nachdem dasselbe auf kontinuierlich verbreitete Massen angewendet wurde. Auf NEWTONS Bewegungsgleichungen allein stützte sich die kinetische Theorie der Wärme, welche nicht nur die Geister für die Erkenntnis des Gesetzes der Erhaltung der Energie vorbereitete, sondern auch eine in ihren feinsten Zügen bestätigte Theorie der Gase und eine vertiefte Auffassung des Wesens des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik lieferte. Auch die Lehre von Elektrizität und Magnetismus entwickelte sich bis in die moderne Zeit ganz unter der Leitung NEWTONscher Grundideen (elektrische und magnetische Substanz, Fernkräfte). Sogar die FARADAY-MAXWELLsche Umwälzung der Elektrodynamik und Optik, welche den ersten großen prinzipiellen Fortschritt der Grundlagen der theoretischen Physik seit NEWTON bedeutete, vollzog sich noch ganz unter der Führung NEWTONscher Ideen. MAXWELL, BOLTZMANN, Lord KELVIN wurden nicht müde, immer aufs neue zu versuchen, die elektromagnetischen Felder und deren dynamische Wechselwirkungen zurückzuführen auf mechanische Vorgänge kontinuierlich verteilter hyperthetischer Massen. Aber unter dem Einfluß der Fruchtlosigkeit oder doch mindestens Unfruchtbarkeit jener Bemühungen vollzog sich seit dem Ende des neunzehnten Jahrhunderts allmählich ein Umschwung der Grundanschauungen, ein Hinauswachsen der theoretischen Physik aus dem NEWTONschen Rahmen, welcher der Wissenschaft fast zwei Jahrhunderte lang Halt und gedankliche Führung gab.

NEWTONS Grundprinzipien waren vom logischen Standpunkt derart befriedigend, daß der Anstoß zu Neuerungen aus dem Zwange der Erfahrungstatsachen entspringen mußte. Bevor ich darauf eingehe, muß ich betonen, daß NEWTON selbst die seinem Gedankengebäude anhaftenden schwachen Seiten besser kannte, als die folgenden Gelehrtengenerationen. Dieser Umstand hat stets meine ehrfürchtige Bewunderung erregt; ich möchte deshalb ein wenig dabei verweilen.

1. Trotzdem man allenthalben das Streben NEWTONS bemerkt, sein Gedankensystem als durch die Erfahrung notwendig bedingt hinzustellen und möglichst wenig auf Erfahrungsgegenstände nicht unmittelbar beziehbare Begriffe einzuführen, stellt er den Begriff des absoluten Raumes und den der absoluten Zeit auf. Man hat ihm dies in unserer Zeit öfter zum Vorwurf gemacht. Aber gerade in diesem Punkte ist NEWTON besonders konsequent. Er hatte erkannt, daß die beobachtbaren geometrischen Größen (Abstände der materiellen Punkte voneinander) und deren zeitlicher Verlauf die Bewegungen in physikalischer Beziehung nicht vollständig charakterisieren. An dem berühmten Eimerversuch beweist er diesen Umstand. Es gibt

also außer den Massen und ihren zeitlich variablen Abständen noch etwas, was für das Geschehen maßgebend ist: dieses „Etwas" faßt er als die Beziehung zum „absoluten Raum" auf. Er erkennt, daß der Raum eine Art physikalischer Realität besitzen muß, wenn seine Bewegungsgesetze einen Sinn haben sollen, eine Realität von derselben Art wie die materiellen Punkte und deren Abstände.

Diese klare Erkenntnis zeigt ebenso NEWTONS Weisheit wie auch eine schwache Seite seiner Theorie. Denn der logische Aufbau der letzteren wäre gewiß befriedigender ohne diesen schattenhaften Begriff; dann gingen nämlich in die Gesetze nur Gegenstände ein (Massenpunkte, Entfernungen), deren Beziehung zu den Wahrnehmungen vollkommen klar ist.

2. Die Einführung unvermittelter, instantan wirkender Fernkräfte zur Darstellung der Gravitationswirkungen entspricht nicht dem Charakter der meisten Vorgänge, die uns aus der täglichen Erfahrung bekannt sind. Diesem Bedenken begegnet NEWTON durch den Hinweis darauf, daß sein Gesetz der Schwere-Wechselwirkung keine letzte Erklärung sein soll, sondern eine aus der Erfahrung induzierte Regel.

3. NEWTONS Lehre lieferte keine Erklärung für die höchst merkwürdige Tatsache, daß Gewicht und Trägheit eines Körpers durch dieselbe Größe (die Masse) bestimmt werden. Auch die Merkwürdigkeit dieser Tatsache ist NEWTON aufgefallen.

Keiner dieser drei Punkte hat den Rang eines logischen Einwandes gegen die Theorie. Sie bilden gewissermaßen nur ungestillte Wünsche des nach restloser und einheitlicher gedanklicher Durchdringung des Naturgeschehen ringenden wissenschaftlichen Geistes.

NEWTONS Bewegungslehre, als Programm für die gesamte theoretische Physik aufgefaßt, erfuhr ihre erste Erschütterung durch die MAXWELLsche Theorie der Elektrizität. Es zeigte sich, daß die Wechselwirkungen zwischen Körpern durch elektrische und magnetische Körper nicht durch momentan wirkende Fernkräfte erfolgen, sondern durch Vorgänge, die sich mit endlicher Geschwindigkeit durch den Raum fortpflanzen. Es entstand neben dem Massenpunkt und seiner Bewegung nach FARADAYS Konzeption eine neue Art physikalischer realer Dinge, nämlich das „Feld". Dieses wurde zunächst in Anlehnung an die mechanische Denkweise als mechanischer (Bewegungs- oder Zwangs-) Zustand eines raumerfüllenden hypothetischen Mediums (des Äthers) aufzufassen gesucht. Als aber trotz hartnäckigster Bemühung diese mechanische Interpretation nicht gelingen wollte, gewöhnte man sich langsam daran, das „elektromagnetische Feld" als letzten irreduzibeln Baustein der physikalischen Realität aufzufassen. Wir verdanken H. HERTZ die bewußte Loslösung des Feldbegriffes von allem Beiwerk aus dem Begriffsschatz der Mechanik, H. A. LORENTZ die Löslösung des Feldbegriffes von einem materiellen Träger: nach letzterem figurierte als Träger des Feldes nur mehr der physikalische leere Raum (oder Äther), der ja schon in NEWTONS Mechanik nicht aller physikalischen Funktionen bar gewesen war. Als sich diese Entwicklung vollzogen hatte, glaubte niemand mehr an unvermittelte momentane Fernwirkungen, auch nicht auf dem Gebiete der Gravitation, wenn auch eine Feldtheorie der letzteren mangels an genügendem Tatsachenwissen nicht eindeutig vorgezeichnet war. Die Entwicklung der elektromagnetischen Feldtheorie führte auch — nachdem NEWTONS Fernkrafthypothese verlassen war — zu dem Versuch, das NEWTONsche Bewegungsgesetz elektromagnetisch zu erklären bzw. durch ein genaueres zu ersetzen, das auf die Feldtheorie gegründet war. Wenn diese Bemühungen auch nicht zu einem vollen Erfolg führten, so hatten doch die mechanischen Grundbegriffe aufgehört, als fundamentale Bausteine des physikalischen Weltbildes betrachtet zu werden.

Die MAXWELL-LORENTZsche Theorie führte mit Notwendigkeit zur speziellen Relativitätstheorie, welche wegen der Vernichtung des absoluten Gleichzeitigkeitsbegriffes die Existenz von Fernkräften ausschloß. Diese Theorie ergab, daß die Masse keine unveränderliche, sondern eine vom Energieinhalte abhängige (ja mit diesem gleichwertige Größe) sei. Sie zeigte auch, daß NEWTONS Bewegungsgesetz nur als ein für kleine Geschwindigkeiten gültiges Grenzgesetz aufzufassen sei; sie setzte an dessen Stelle ein neues Bewegungsgesetz, in welchem die Vakuumlichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit auftritt.

Den letzten Schritt in der Entwicklung des Programms der Feldtheorie bildete die allgemeine Relativitätstheorie. Sie modifiziert NEWTONS Theorie quantitativ nur wenig, qualitativ um so tiefgreifender. Trägheit, Gravitation und metrisches Verhalten der Körper und Uhren wurden auf eine einheitliche Feldqualität zurückgeführt, dies Feld selbst wieder als von den Körpern abhängig gesetzt (Verallgemeinerung des NEWTONschen Gravitationsgesetzes bzw. des ihm entsprechenden Feldgesetzes, wie es POISSON formuliert hatte). Damit waren Raum und Zeit zwar nicht ihrer Realität wohl aber ihrer kausalen Absolutheit (Absolutheit = beeinflussend, aber nicht beeinflußt) entkleidet, die ihnen NEWTON zuschreiben mußte, um den damals bekannten Gesetzen Ausdruck verleihen zu können. Das verallgemeinerte Trägheitsgesetz übernimmt die Rolle des NEWTONschen Bewegungsgesetzes. Aus dieser kurzen Charakterisierung erhellt schon, wie die Elemente der NEWTONschen Theorie in die allgemeine Relativitätstheorie übergingen, wobei die oben genannten drei Mängel überwunden wurden. Es scheint, daß im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie das Bewegungsgesetz aus dem dem NEWTONschen Kraftgesetz entsprechenden Feldgesetz hergeleitet werden kann. Erst nach völliger Erreichung dieses Zieles kann von einer reinen Feldtheorie die Rede sein.

NEWTONS Mechanik hat noch in einem mehr for-

malen Sinne der Feldtheorie den Weg bereitet. Die Anwendung von NEWTONS Mechanik auf die kontinuierlich verteilten Massen führte nämlich mit Notwendigkeit zur Entdeckung und Anwendung der partiellen Differentialgleichungen, welche ihrerseits erst die Sprache für die Gesetze der Feldtheorie lieferten. Auch in dieser formalen Beziehung bildet NEWTONS Konzeption des Differentialgesetzes den ersten entscheidenden Schritt der folgenden Entwicklung.

Die ganze Entwicklung unserer Ideen über das Naturgeschehen, von welcher bisher die Rede war, können als eine organische Fortbildung NEWTONscher Gedanken aufgefaßt werden. Aber während die Durchbildung der Feldtheorie noch im vollen Gange war, offenbarten die Tatsachen der Wärmestrahlung, der Spektren, der Radioaktivität usw. eine Grenze der Brauchbarkeit des gesamten Gedankensystems, die uns heute noch trotz gigantischer Erfolge im einzelnen schier unübersteigbar erscheint. Nicht ohne gewichtige Argumente behaupten viele Physiker, daß diesen Tatsachen gegenüber nicht nur das Differentialgesetz, sondern selbst das Kausalitätsgesetz — bisher das letzte Grundpostulat aller Naturwissenschaft — versage. Selbst die Möglichkeit einer raumzeitlichen Konstruktion, welche dem physikalischen Geschehen eindeutig zugeordnet werden könne, wird geleugnet. Daß ein mechanisches System nur diskreter Energiewerte bzw. Zustände dauernd fähig sei, wie die Erfahrung sozusagen direkt zeigt, scheint zunächst aus einer Feldtheorie, die mit Differentialgleichungen arbeitet, kaum ableitbar zu sein. Die DE BROGLIE-SCHRÖDINGERsche Methode, welche in gewissem Sinne den Charakter einer Feldtheorie hat, deduziert zwar auf Grund von Differentialgleichungen aus einer Art Resonanzbetrachtung die Existenz nur diskreter Zustände und deren Übergänge ineinander in verblüffender Übereinstimmung mit Erfahrungstatsachen, aber sie muß auf eine Lokalisierung der Massenteilchen und auf streng kausale Gesetze verzichten. Wer wollte so vermessen sein, heute die Frage zu entscheiden, ob Kausalgesetz und Differentialgesetz, diese letzten Prämissen NEWTONscher Naturbetrachtung, definitiv verlassen werden müssen?

Aus Newtons Optik[1]).

Von M. v. LAUE, Berlin.

Wenn heutzutage von ISAAK NEWTONS Leistungen die Rede ist, denkt jeder zunächst an seine Mechanik, die 200 Jahre die Physik völlig beherrscht hat und selbst jetzt, da man in mehr als einer Richtung ihre Grenzen kennt, für die meisten Probleme der Physik, für die ganze Astronomie (mit *einem* Ausnahmefall) und für die gesamte Technik ausreicht. Erst in zweiter Linie steht uns seine „Optik", obwohl sie — man denke an das gewiß unverdächtige Zeugnis GOETHES — ein Jahrhundert mächtigere Wirkung ausgeübt hat, als jede andere Schrift über Licht und Farbe. Der Grund dafür liegt auf der Hand. NEWTON hat sich der Wellenlehre des Lichtes nicht angeschlossen. Sein Zeitgenosse CHRISTIAN HUYGENS steht unserem Denken in vieler Hinsicht näher. Aber doch läßt sich kurz und präzis eine Großtat in der Lehre vom Licht nennen, ohne welche die heutige Optik unmöglich wäre, und die wir zweifellos NEWTON und ihm allein verdanken. Wir meinen den Beweis für die Existenz einer unendlichen Mannigfaltigkeit homogener, durch ihr Verhalten bei der Brechung zahlenmäßig zu kennzeichnender Lichtarten, die auch in der Zusammensetzung mit anderen ihre Eigenschaften unverändert bewahren. Das ist uns freilich so geläufig, daß wir uns fast besinnen müssen, was daran zu entdecken war. Von der Bedeutung der Tat überzeugt aber schlagend der Zustand der Optik vor NEWTON und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen.

Wie sah es vor NEWTON in der Optik aus? Seit Anfang des 17. Jahrhunderts besaß man eine elementare geometrische Optik, beruhend auf der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes, dem Spiegelungs- und Brechungsgesetz, der seit 1665 unangeschlossen GRIMALDIS Beobachtung der Beugung gegenüberstand. Auf Grund dieser Optik baute man aus Linsen optische Instrumente, aber ohne chromatische Korrektur, da deren Notwendigkeit nicht bekannt war. In Verkennung der Verhältnisse suchte man die Verbesserung der Abbildung gelegentlich auf dem heute wieder modernen Wege der nichtsphärischen Linsen.

Daneben stand ungelöst das uralte Problem der Farbe. Zwar hatte man sich seit Anfang des siebzehnten Jahrhunderts in der Physik von ARISTOTELES frei gemacht, doch spukte dessen Mischung von Licht und Finsternis zu einer Farbe noch häufig in den einschlägigen Gedankengängen. Was an einer Farbenempfindung dem betrachteten Körper, was dem ihn treffenden Licht, was dem Auge zuzuschreiben sei, darüber herrschte größte Unklarheit. Liest man, was 1665 BOYLE[1]), der wohlbekannte Erforscher der Gasgesetze, darüber schreibt, so versteht man ROSENBERGERS Spott: „Trotz aller Farben habe dieses Gebiet in absolutem Dunkel gelegen."

Ansätze zur Wellenoptik gab es schon vor NEWTONS erstem Auftreten. ROBERT HOOKE, sieben Jahre älter als er, ein Mann von wohlverdientem Rang und Ansehen, wenngleich einem NEWTON nicht ebenbürtig, hatte 1665 in seiner „Micrographia" eine wellentheoretische Erklärung

[1]) Alles Historische an der folgenden Plauderei stammt aus FERDINAND ROSENBERGERS Werk: „ISAAK NEWTON und seine physikalischen Prinzipien". Leipzig 1895.

[1]) ROSENBERGER a. a. O.: S. 42.

der Farbe gegeben[1]), die freilich nicht konsequent durchdacht und tatsächlich auch gar nicht durchführbar war. In derselben Schrift fanden sich ferner wertvolle, wenngleich mehr qualitative Beobachtungen über die Farbe dünner Blättchen, welche NEWTON in seinen Schriften wohl erwähnt, aber doch kaum vollkommen gewürdigt hat. Und HOOKE war nicht der einzige Anhänger einer Wellentheorie. Der HUYGENSsche „Traité de la lumière" freilich ist jünger als NEWTONS erste Arbeit, die 1672 erschien. Er wurde 1678 vollendet, aber erst 1690 gedruckt.

Die Beschäftigung NEWTONS mit Optik scheint 1664 begonnen zu haben, als der 22jährige Cambridger Student bei BARROW Vorlesungen darüber hörte. Ob bei seinen damaligen Versuchen mit Prismen und Linsen mehr herauskam, als Schülerarbeit, steht dahin. Aber 1668 gelingt dem jungen Genie die erste Leistung: die Erfindung des Spiegelfernrohrs, das freilich wegen technischer Schwierigkeiten erst viel später, nach dem Tode des Erfinders, zu erfolgreicher Verwendung in der Astronomie gelangen sollte. Immerhin erregte sie sogleich Aufsehen und eröffnete ihm den Zugang zur Royal Society; und kennzeichnend für NEWTONS Entwicklung ist die ihr zugrunde liegende, klar ausgesprochene Erkenntnis, die Mängel der damaligen Refraktoren stammten wesentlich von den *chromatischen* Linsenfehlern. In der anschließenden Kontroverse mit HOOKE — der ersten, keineswegs letzten — spricht NEWTON auch von Versuchen, die chromatischen Abweichungen durch Kombination verschiedener brechender Körper zu vermindern. Leider scheinen diese Versuche im Sande verlaufen zu sein, und auch später (1676), als Abweichungen zwischen den Dispersionsmessungen von LUCAS in Lüttich[2]) und den eigenen ihm den Gedanken hätten nahe legen können, die Unterschiede durch Verschiedenheiten der Glassorten zu erklären, ist NEWTON leider nicht darauf gekommen. So entging ihm die Erfindung der achromatischen Linse.

Es hat ihn wohl damals das Grundsätzliche am Problem der Farbenzerstreuung ganz in Anspruch genommen. Um die Jahreswende 1671/72 gelangten Versuche darüber zum Abschluß, welche die spektrale Zerlegbarkeit des Sonnenlichtes völlig klar legten. Am 6. Februar 1672 wurden sie der Royal Society mitgeteilt, am 19. Februar erschienen sie gedruckt in den Philosophical Transactions. Daß NEWTON sich über die Bedeutung seiner Entdeckung völlig klar war, beweisen die Worte, mit denen er die Abhandlung dem Sekretär der Royal Society ankündigte.

Von dem Inhalt sprechen wir später. Doch sei betont, wie rein experimentell derselbe NEWTON hier seine Aufgabe faßte, der später bei der Planetenbewegung einen der größten Triumphe der theoretischen Forschung herbeiführte. In logischer Folge reiht er Versuch an Versuch, um den unlösbaren Zusammenhang zwischen der Farbe homogen Lichtes und der Brechbarkeit zu beweisen. Aber die wohlberechtigte Frage nach der tieferen Bedeutung dieses Zusammenhanges wird mit dem leichten und wahrlich nicht befriedigenden Hinweis abgetan, das Licht sei stofflich, also müsse man die homogenen Lichtarten für ebenso viele verschiedene Stoffarten halten.

Das genügte namentlich denjenigen nicht, die sich selbst schon um die Natur der Farben bemüht hatten; jedoch nicht nur aus dem einen Grunde entspannen sich langwierige, von NEWTON schwerer als nötig empfundene Kämpfe mit HOOKE und anderen; einem Genius auf seiner Bahn zu folgen ist den Zeitgenossen noch nie leicht gefallen. Unter diesen anderen befand sich auch HUYGENS[1]), der, weit entfernt, den Zusammenhang zwischen der NEWTONschen Skala der einfarbigen Lichtarten und der Skala der Schwingungszahlen zu erkennen, 1673 eine auf der Annahme zweier oder dreier Grundfarben beruhende Theorie empfahl. Ja, es ist Tatsache: Auf die Analogie beider Skalen mußte NEWTON selbst in einer Entgegnung an HOOKE

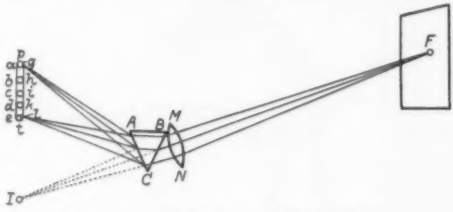

Fig. 24 auf Tafel 5 in Buch I, Teil 1.

die Vertreter der Wellenlehre hinweisen[2]). Aber wenn er sich damals auch, gezwungen durch diese Streitigkeiten, mehr als sonst mit der Wellentheorie beschäftigt hatte, so hat er sich niemals mit Überzeugung zu ihr bekannt. Was er als „Theorie des Lichtes und der Farbe" Ende 1675 der Royal Society vorlegte, enthält andere Anschauungen. Wichtiger als sie sind die genauen Ausmessungen der von HOOKE nur qualitativ beschriebenen Farbenringe an dünnen Blättchen, welche allerdings zunächst nicht gedruckt wurden. Erst nach fast 30 Jahren nahm NEWTON sie in seine „Optik" auf, und zwar unverändert. Mehr noch als dies spricht es für seine Sorgfalt als Beobachter, daß der siegreiche Verfechter des Interferenzprinzips, THOMAS YOUNG, am Anfang des neunzehnten Jahrhunderts zur Bestimmung der optischen Wellenlängen diese Messungen benutzen konnte und mangels besserer auch benutzen mußte.

Damit endigte NEWTONS erste optische Periode. Er selbst erwähnt später Vervollständigungen seiner Untersuchungen aus dem Jahre 1687, die er zur Vermeidung von Streitigkeiten nicht veröffentlicht habe. Dieser Beweggrund erklärt aber

[1]) ROSENBERGER a. a. O.: S. 35.
[2]) ROSENBERGER a. a. O.: S. 89.

[1]) ROSENBERGER a. a. O.: S. 82.
[2]) ROSENBERGER a. a. O.: S. 81 u. 100.

wohl nur zum Teil die 28jährige Pause in seinen optischen Veröffentlichungen. Sie war ausgefüllt durch jene Arbeiten, deren Zusammenfassung uns in den „Philosophiae naturalis Principia mathematica" vorliegt. Immerhin mag der Tod seines ständigen Gegners HOOKE (1703) mit zu dem Entschlusse beigetragen haben, alle seine optischen Untersuchungen zusammenzustellen. So kam 1704 das Buch heraus, dessen vollständiger Titel in der 1706 erschienenen lateinischen Übersetzung lautet:

OPTICE
sive de
Reflexionibus, Refractionibus, Inflexionibus & Coloribus
Lucis
libri tres.

Nur Kleinigkeiten sind in den späteren Auflagen geändert[1]).

Das erste dieser drei Bücher behandelt die spektrale Zerlegung und was damit zusammenhängt, z. B. auch das Spiegelfernrohr als Mittel zur Vermeidung der chromatischen Bildfehler, das zweite Buch die Farbe dünner Blättchen und ähnliche Interferenzerscheinungen (um einmal den heutigen Sprachgebrauch anzuwenden) sowie die „Theorie des Lichtes", das dritte und kürzeste beschreibt Beugungsversuche; es geht nur wenig über GRIMALDI hinaus, enthält aber unter anderem einen Beugungsversuch am keilförmigen Spalt, der in heutigen Zeiten durch seine Wiederholung mit Röntgenstrahlen wieder besonderes Interesse gewonnen hat.

Von dem Inhalt ist das meiste dauernder Bestandteil unserer Wissenschaft geworden, so daß wir uns ein näheres Eingehen darauf sparen können. Nur ein paar kennzeichnende, weniger bekannte Einzelheiten zunächst aus dem ersten Buch möchten wir erwähnen. Das experimentelle Rüstzeug ist sehr einfach: ein verdunkeltes Zimmer, in welches durch eine kleine Öffnung Sonnenlicht fällt, ein paar Prismen, zum Teil ersetzt durch prismatische Glasgefäße mit Wasserfüllung, eine Linse und ein paar Blenden sind neben einem Blatt Papier zum Auffangen der Lichterscheinung alles. In einigen Fällen genügt eine Kerze als Lichtquelle. Das dem heutigen Physiker selbstverständliche Verfahren, je eine Linse vor und hinter dem dispergierenden Prima anzuwenden (Kollimation), findet sich nirgends. Wohl aber verwendete NEWTON zur Steigerung der spektralen Reinheit, z. B. in Figur 24 auf Tafel 5 in Buch 1, Teil 1, eine Linse *MN* vor dem Prisma *ABC*, die auf den Schirm das Bild der Öffnung *F* im Fenster entwirft. Der dazu gehörende Text erwähnt, warum man diese Öffnung zweckmäßig als Spalt ausbildet. Zu einem vollständigen experimentellen Beweis, daß das SNELLIUSsche Brechungsgesetz für jede homogene Lichtart gilt, reichte die Meßgenauigkeit nicht aus. NEWTON ersetzte ihn durch eine theoretische Ableitung unter der Annahme einer Kraft zwischen Körper und Lichtstrahl, die auf der Grenzfläche des Körpers senkrecht steht (fünfzehnter Versuch).

In seinen Jugendveröffentlichungen legte NEWTON besonderen Wert auf den Versuch, der hier die Nr. 6 trägt (Fig. 18 auf Tafel 4 zum ersten Buch, Teil 1). Die Blenden *G* und *g* sondern aus dem bei *F* ins Zimmer tretenden Lichtstrahl einen homogenen Bestandteil aus; welchen, das bestimmt die Stellung des Prismas *ABC*. Worauf es ankommt, ist, daß dieser Bestandteil vom zweiten Prisma *abc unzerlegt abgelenkt* wird, und zwar je nach seiner Farbe um verschiedene Winkel. In der „Optik" selbst ist dieser Versuch in die Reihe anderer eingereiht, die NEWTON jetzt als nicht minder beweiskräftig angesehen haben wollte.

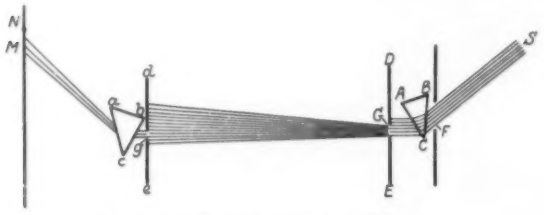

Fig. 18 auf Tafel 4 in Buch I, Teil 1.

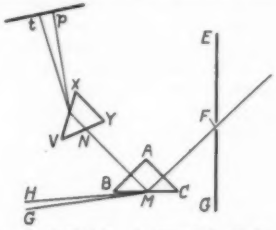

Fig. 21 auf Tafel 4 in Buch I, Teil 1.

Eigenartig ist ferner die in Fig. 21 der vierten Tafel zu Buch 1, Teil 1, beschriebenen Methode, mittels totaler Reflexion an der Fläche *AB* das Prisma *ABC* die spektrale Zusammensetzung des Lichts zu ändern. Sie beruht auf der Abhängigkeit des Grenzwinkels der Totalreflexion von der Farbe; das andere Prisma dient zum Nachweis dieser Veränderung.

Auch den heutigen Physiker überrascht einen Augenblick der Versuch, den Fig. 3 auf der ersten Tafel zu Teil 2 des ersten Buches[1]) darstellt. Dicht hinter das Prisma *ABC*, welches das Sonnenlicht zerlegt, setzt der Autor ein weißes Blatt. Es erscheint weiß beleuchtet in der Stellung *DE*,

[1]) Deutsch erschien die „Optik" in OSTWALDS exakten Wissenschaften Nr. 96 und 97, übersetzt von WILLIAM ABENDROTH.

[1]) In OSTWALDS Klassikern Nr. 96 Figur 32. Die früher angeführten Figuren trugen in der deutschen Übersetzung die im Text genannten Nummern.

dagegen gelb bis rot in der Stellung *de*, blau bis violett in der Stellung $\delta\varepsilon$. Es tragen nämlich die Lichtarten nichts zur Beleuchtung bei, zu denen das Blatt in letzteren Stellungen parallel ist, und die verschiedenen Lichtarten haben hinter dem Prisma verschiedene Richtungen. Es gibt wohl kein einfacheres Verfahren, die Zerlegung des weißen Lichtes in farbige Teile und deren Wiedervereinigung zu Weiß zu demonstrieren.

Die ganze, in dem strengen Gewande von Propositionen, Theoremen, Experimenten und drei Problemen vorgetragene Lehre von der spektralen Zerlegung krönt NEWTONS berühmte Theorie des Regenbogens mit der wohl gelungenen Deutung der verschiedenen Farbenanordnungen im Haupt- und im Nebenbogen, deren quantitativ berechneten Durchmessern und Breiten (Fig. 15 auf Tafel 4 zu Buch I, Teil 2)[1]).

Schon in der Einteilung unterscheidet sich davon wesentlich das zweite Buch. Es reiht zunächst 24 „Beobachtungen" aneinander, die meisten angestellt in den Farbringen, die bei der Berührung einer konvexen Linse und einer ebenen Platte entstehen. Zu den wichtigsten Messungen wird spektrale Reinigung des Lichtes angewandt. Die zehnte Beobachtung betrifft die Änderung, welche eintritt, wenn man statt Luft Wasser zwischen die Gläser bringt. „Als ich die Ringe maß, fand

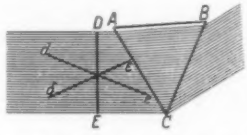

Fig. 3 auf Tafel 1 in Buch I, Teil 2.

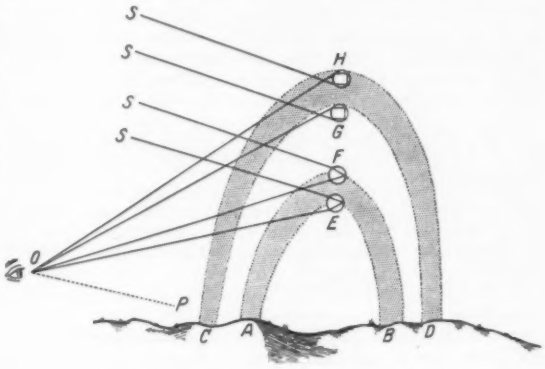

Fig. 15 auf Tafel 4 in Buch I, Teil 2.

ich das Verhältnis ihrer Durchmesser zu den Durchmessern der nämlichen, von der Luft gebildeten Kreise etwa wie 7:8, und mithin die Zwischenräume der Gläser bei denselben durch Wasser und durch Luft hervorgerufenen Ringen wie 3:4. Es mag vielleicht eine allgemeine Regel sein, daß, wenn irgendein anderes Medium, welches dichter oder weniger dicht als Wasser ist, zwischen die beiden Gläser gedrückt wird, die Zwischenräume bei den so erzeugten Ringen zu den nämlichen, durch zwischenliegende Luft entstehenden sich verhalten, wie die Sinus, welche die Brechung aus diesem Medium in Luft messen."

Keine so bedeutsame historische Rolle war den im vierten Teil beschriebenen Interferenzerscheinungen an dicken Platten beschieden. Wie die große anschließende Literatur schärfer noch als NEWTONS Angaben beweist, sind eine diffuse Zerstreuung des Lichtes an der Vorderfläche und die Spiegelung an der Rückseite ihre wesentlichen Ursachen[1]). NEWTONS Beobachtungen sind auch hier so gut, daß die späteren sie vollauf bestätigten.

Darauf folgte in 20 „Propositionen" die bekannte Theorie der periodischen „Anwandlungen" der „Lichtpartikeln". Weit entfernt sich NEWTON hier von der Wellenlehre, hauptsächlich, weil er den nach damaliger allgemeiner Ansicht dafür notwendigen Äther in seiner Lehre von der Schwerkraft gänzlich verworfen hatte. Aber daneben muß man die Mängel der damaligen Wellentheorie bedenken. Das Grundphänomen der Optik, die im allgemeinen geradlinige Fortpflanzung des Lichtes, war keineswegs völlig aus ihr erklärt. Zwar hatte HUYGENS in genialer Intuition geschaut, daß eine seitliche Ausbreitung des Lichtes zwar notwendige Folge der Wellenvorstellung ist, daß diese aber gegenüber dem, was in der Strahlrichtung fortschreitet, zumeist unmerkbar schwach sein muß. Jedoch einen zwingenden mathematischen Beweis enthielt seine berühmte Enveloppenkonstruktion nicht. Und schließlich hatte gerade dieser größte unter den Vertretern der Wellenoptik im „Traité de la lumière" das Problem der Farben nicht einmal erwähnt. Erst LEONHARD EULER, der große Mathematiker, trat 1750, also 23 Jahre nach NEWTONS Tode, wieder für den von NEWTON um 1675 als möglich erkannten Zusammenhang zwischen Farbe und Schwingungszahl ein. Die Tatsache, daß zwei Optiker, wie NEWTON und HUYGENS, aneinander vorübergegangen sind, wo doch die gegenseitige Anpassung ihrer Ideen die Optik sogleich auf eine ganz andere Stufe gehoben hätte, fällt also jedenfalls nicht NEWTON allein zur Last.

Wie bedauerlich sie aber ist, zeigt so recht der fragmentarische Zusatz zur Optik, der nach NEWTONS Worten den unvollendeten Teil seiner Untersuchungen enthält. Frage 17 der lateinischen

[1]) In OSTWALDS Klassikern Nr. 96 Figur 44.

[1]) Über die Literatur vgl. E. GEHRCKES Handbuch der physikalischen Optik, Band I, Teil I, Seite 442 (Leipzig 1926).

Ausgabe von 1706[1]), die wie die meisten anderen in ihrer Fassung die Ansicht des Autors ohne weiteres verrät, lautet: „Haben die Lichtstrahlen nicht außer den beschriebenen noch andere ursprüngliche Eigenschaften? Ein Beispiel für eine solche besondere Eigenschaft haben wir in der Brechung durch einen isländischen Krystall, wie sie zuerst ERASMUS BARTHOLINUS und später noch genauer HUGENIUS in seinem Buche: „De la lumière" beschrieben hat." Nun sollte man meinen, daß NEWTON irgendwie auf die genaue Vorschrift der HUYGENSschen Wellenlehre zur Konstruktion des außerordentlichen Strahles einginge. Aber weit gefehlt! Er ersetzt sie ohne weiteres durch eine rein empirische, unzutreffende. Dafür wird ihm aber eine andere Seite des Doppelbrechungsproblems völlig klar, an welcher HUYGENS[2]) nach seinen eigenen Worten gescheitert war. Denn Frage 18[3]) beginnt: „Haben nicht die Lichtstrahlen verschiedene Seiten, die mit verschiedenen ursprünglichen Eigenschaften begabt sind?" Und was dann folgt, ist eine Auseinandersetzung über den Polarisationsunterschied zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl im Kalkspat, der zur Aufnahme in ein heutiges Lehrbuch nichts fehlt als das Wort „Polarisation". Wie sich diese Tatsache mit NEWTONS eigener Lichttheorie verträgt, darüber findet man weder in dieser Frage noch in der nachfolgenden Polemik gegen andere Theorien auch nur ein Wort.

Doch wer ist befugt, ein Genie, das auf der eigenen Bahn fortschreitend NEWTONsche Leistungen vollbracht hat, anzuklagen, weil es nicht mehr auf fremde Anregungen eingegangen ist? Wer weiß, ob es dann noch zu jenen Leistungen befähigt gewesen wäre? Eher schon darf man den Epigonen einen Vorwurf machen, die in übertriebenem Autoritätsglauben den Fortschritt der Wissenschaft durch Jahrzehnte aufgehalten haben. Das neunzehnte Jahrhundert hat schließlich die Verschmelzung von NEWTONscher und HUYGENSscher Optik vollzogen, mit solchem Erfolge, daß nach aller menschlichen Voraussicht, was diese beiden geleistet, nie aus der Physik verschwinden wird, mag auch die Wellenlehre in Zukunft noch so tiefgreifende Abänderungen durch die Quantentheorie erfahren.

Ein vielzitierter Ausspruch KANTS mißt die Wissenschaftlichkeit eines Erkenntnisgebietes nach der Mathematik, die darin enthalten. Es gibt kaum ein besseres Beispiel dafür als die Förderung, welche die Optik durch NEWTON erfahren hat. Denn wo immer er optisch gearbeitet hat, hat er als erster Maß und Zahl eingeführt, und so Fundamente gelegt, die sich für alle späteren Fortschritte als unumgänglich notwendig erwiesen haben. Das ist kein unwesentlicher Teil seines unvergänglichen Ruhms.

[1]) Das ist Frage 25 in OSTWALDS Klassikern Nr. 97. NEWTON hat in spätere Auflagen nämlich einige Fragen eingeschoben.

[2]) Man vergleiche die deutsche Übersetzung „Abhandlung über das Licht" in OSTWALDS Klassikern Nr. 20, Seite 80: „Wie dies aber geschieht, dafür habe ich bis jetzt eine mich befriedigende Erklärung nicht gefunden".

[3]) In OSTWALDS Klassikern Nr. 57 Frage 26.

Über die Asymmetrie der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit.

Von EDGAR ZILSEL, Wien.

Bekanntlich war es ERNST MACH, der besonders nachdrücklich die Kausalvorstellung des Alltags für die Wissenschaft abgelehnt hat. Seit seinem Wirken wissen wir, daß Naturgesetze suchen soviel heißt, wie *Funktionen* ausfindig machen, die Zustände, Vorgänge, Naturbeziehungen miteinander verknüpfen. Solche funktionale Verknüpfungen lassen sich zunächst bei Vorgängen von der Größenordnung unseres Leibes finden: es sind dies die *Makro*gesetze der Physik. Merkwürdigerweise aber haben wir Menschen das Bedürfnis, auch viel kleinerer Bezirke, auch der Zwischengebiete zwischen nicht benachbarten Vorgängen habhaft zu werden: wir suchen nach *Mikro*gesetzen, und sehr merkwürdigerweise scheint die Natur zumindest in weitem Umfang unserem Suchen entgegenzukommen. Solche Mikrogesetze sind teils Differentialgleichungen, die stets die Variable Zeit enthalten — denn merkwürdigerweise beansprucht die räumliche Übertragung von Zuständen erfahrungsgemäß Zeit (Nahewirkung) — teils dürften in kleinen Bezirken andersartige funktionale Verknüpfungen bestehen. Hat man Mikrogesetze gefunden, so kann man die Makrogesetze teils durch Integration, teils statistisch aus ihnen ableiten. Freilich stehen wir inmitten einer großartigen Gärung der Physik: fast in jedem der obigen Sätze starren uns heute noch ungelöste Probleme entgegen, Probleme, die indes hier nicht erörtert werden sollen.

I.

Wir sprachen von Gesetzen und Funktionen, d. h. von wissenschaftlichen Begriffen, die sich exakt fassen lassen. Um so schwieriger ist es, zu der alltäglichen und verschwommenen Kausalvorstellung wieder zurückzufinden. Jedenfalls erscheint die Beziehung zwischen Ursache und Wirkung, wie vielerlei auch sonst mit ihr gemeint zu werden pflegt, als durchaus asymmetrisch, in Gesetzen und Funktionen dagegen lassen sich abhängige und unabhängige Variable niemals grundsätzlich gegeneinander auszeichnen. Zu dem Sonnenabstand eines Planeten z. B. gehört nach dem 3. KEPLERschen Gesetz eine gewisse Umlaufszeit, zu der Umlaufszeit gehört umgekehrt der entsprechende Sonnenabstand; zu der Kernladungszahl eines Elements gehört nach dem MOSELEYschen Gesetz

eine gewisse Frequenz einer ausgesandten Röntgenlinie, zu der Röntgenfrequenz gehört umgekehrt die entsprechende Kernladungszahl: was abhängig, was unabhängig ist, ist dem Gesetz nicht zu entnehmen. Wenn wir im Alltag nicht mit solchen Gesetzen, sondern mit der asymmetrischen Kausalität operieren, so hat dies zunächst praktisch-biologische Gründe. Unsere Erkenntnis steht ja im Dienste unserer Reaktionen auf die Umwelt, unsere Reaktionen aber können zu allermeist nur an *einer* der durch ein Gesetz verknüpften Variablen anpacken. Schwimmt z. B. ein Aräometer nur der Schwere und dem Auftrieb unterworfen in einer Salzlösung, so besteht eine eineindeutige gesetzliche Verknüpfung zwischen der Tiefe, bis zu der der Schwimmer einsinkt, und der Konzentration der Lösung: abhängige und unabhängige Variable sind beliebig vertauschbar. Wollen wir dagegen auf den Vorgang reagieren, so können wir zwar die Konzentration der Lösung willkürlich abändern, nicht aber direkt die Tiefe des Eintauchens. Es kämen ja gegen die Voraussetzung neue Kräfte in das Spiel von Schwere und Auftrieb, wenn wir den Schwimmer mit der Hand hinabdrücken wollten. Wir verteilen nun in unserem Gesetz — und ebenso in den anderen des gleichen Typus — die Namen, Ursache und Wirkung nach dem Vorbild unserer Reaktionen auf die vorkommenden Variablen. Jene Variable nämlich, die dem Eingriff unseres Willens zugänglich ist, bezeichnen wir als die unabhängige, als die Ursache, die mit ihr durch das Gesetz verknüpften als die abhängigen, als die Wirkung. Gerade dadurch entfällt ja im Alltag der Name Ursache gewöhnlich auf räumliche Konstellationen oder Konstellationsänderungen, denn wir Menschen reagieren stets durch Bewegungen. Alltagsursachen sind z. B. das Einwerfen von Salz in Wasser, die Annäherung einer Flamme, das Drehen einer Elektrisiermaschine, die Verbindung oder Unterbrechung von Drähten, das Einschieben eines lichtbrechenden Prismas, das Einnehmen eines Medikaments usf. Da meist noch recht zahlreiche Variable sich reaktiv beeinflussen lassen — eine Elektrisiermaschine z. B. wird gedreht, es sind aber auch ihre Platten mit Stanniol beklebt, Leiter und Isolatoren sind auf eine gewisse Weise angeordnet usf. — pflegt man noch zu erörtern, welche unter ihnen als Ursache, welche als „Bedingungen" zu betiteln sind. Dieses wenig interessante Aufkleben von Wortetiketten können wir uns indes ersparen und alle „unabhängigen" Variablen zusammenfassen. Ein wirkliches Problem liegt nur in der Scheidung von abhängigen und unabhängigen Größen, d. h. in der für den Willen ungleichmäßigen Zugänglichkeit der Naturvariablen.

Diese so merkwürdige Tatsache hängt wohl daran, daß Reaktionen eines Lebewesens in der Zeit ablaufen, daß also unser Zugriff sich jedenfalls zumindest auf jene Größen beschränkt, die schon in einem einzigen Zeitpunkt einen Zustand kennzeichnen. Da z. B. über die Umlaufszeit eines Planeten in einem einzigen Zeitpunkt gar nichts ausgesagt werden kann, können wir sie direkt unmöglich erfassen, wohl aber können wir — theoretisch wenigstens — da er ein Momentanwert ist, den Sonnenabstand des Planeten abändern. Oder exakter ausgedrückt: in die Planetenbewegung könnten wir nach den Grundgleichungen der Mechanik eingreifen, nach dem 3. KEPLERschen Gesetz dagegen, in dem Sonnenabstand und Umlaufszeit gleichwertig auftreten, können wir überhaupt nicht reagieren. Und dies gilt ganz allgemein: unsere Reaktionen beziehen sich als zeitliche Vorgänge überhaupt nicht auf beliebige Gesetze, sondern nur auf jene differentiellen *Sukzessionsgesetze*, aus denen sich die anderen merkwürdigerweise ableiten lassen. Damit aber ist die *Zeit* und ihr einsinniger Ablauf ins Spiel gebracht, die Asymmetrie ist hergestellt. Jetzt erst können wir festsetzen: Ursache heißt bei einem Makrogesetz das, was in dem zugrundeliegenden zeitlichen Differentialgesetz zeitlich vorausgeht, Wirkung, was nachfolgt. Damit sind die etwas verschwommenen Namen Ursache-Wirkung in der Weise auf die Variablen eines Gesetzes aufgeteilt, von der sich wohl auch der gewöhnliche Sprachgebrauch mehr oder weniger bewußt leiten läßt. Es wäre also z. B. in dem STEFAN-BOLTZMANNschen Gesetz — die Strahlungsintensität proportional der 4. Potenz der Temperatur — die Temperatur die Ursache, die Strahlung die Wirkung, weil wir den Körper heizen müssen, damit er strahlt, nicht umgekehrt, und weil jeder dunkel ahnt, was die Differentialgesetze bestätigen: daß nämlich zuerst die Körpertemperatur, d. h. der Bewegungszustand der Molekeln sich ändert und dann erst die Strahlung mit endlicher Geschwindigkeit in das Feld hinausgeht. Gewöhnlich ist zwar die zeitliche Aufeinanderfolge von Ursache und Wirkung wie hier auf winzige Werte herabgedrückt, sie kann aber auch stark zerdehnt werden, wenn man von den zwischenliegenden Differentialvorgängen absieht. Daß z. B. der LEXELLsche Komet im Jahre 1767 dem Jupiter sehr nahe kam und abgelenkt wurde, heißt die Ursache, daß er 1770 eine enge Bahn um die Sonne beschrieb, kann man die Wirkung nennen, wenn man sich für seine kontinuierliche Bewegung in der Zwischenzeit nicht interessiert.

Unsere Verknüpfung von Kausalität und Sukzession enthält eine ernste Schwierigkeit. Im subjektiven Erleben nämlich ist zwar der Zeit eine ausgezeichnete Richtung aufgeprägt, denn an die Vergangenheit können wir uns erinnern, an die Zukunft nicht; objektiv physikalisch aber läßt sich der subjektive Unterschied von Gedächtnis und Erwartung kaum verwerten. Wenn man physikalisch das zeitliche Nacheinander jedoch durch Uhren oder Signale definiert, wie dies gewöhnlich geschieht, würde unsere Kennzeichnung von Ursache und Wirkung durch den Zeitablauf offenbar auf einen Zirkel führen, denn Uhr- und Signalabläufe sind selber Kausalketten. Dieser Zirkel wird nur durch die richtige Definition des Nach-

einander umgangen, eine Definition, die zugleich den eigentlichen Kern der Asymmetrie von Ursache und Wirkung ins rechte Licht setzt.

Was unter Gleichzeitigkeit zu verstehen ist, sei schon angegeben, d. h. es sei schon von je zwei Vorgängen feststellbar, ob sie gleichzeitig sind oder nicht. Noch nicht aber ist dadurch der Rangunterschied zwischen vor- und nachzeitig gekennzeichnet. Aus Differentialgesetzen allein läßt sich dieser Unterschied keineswegs gewinnen, wie aufs schärfste betont werden muß. Aus der Planetenkonstellation vom 1. Januar 1927 z. B. ist ganz ebenso die totale Sonnenfinsternis von 1850 determiniert, d. h. berechenbar wie die von 1899, und das gilt ganz allgemein: überall, wo Differentialgesetze bestehen, determiniert die Zukunft die Vergangenheit ganz ebenso wie die Vergangenheit die Zukunft. Völlig abgesehen von Differentialgesetzen und der Eigenart unseres subjektiven Erlebnisstromes aber zeigt die Natur noch folgenden höchst merkwürdigen Bau: es gibt in ihr Systeme, die in verschiedenen Zeiten verschiedene Zustände annehmen. Diese Zustände sind merkwürdigerweise 1. durch einen Skalar bezeichenbar, d. h. in jedem dieser Systeme läßt sich jeder Zustand relativ gegen seinen zeitlichen Nachbarn z. B. als „niedriger" oder „höher" kennzeichnen (man denke etwa an seinen niedrigeren oder höheren Entropiewert bzw. an den niedrigeren oder höheren Grad der Energiezerstreuung bei auseinanderspritzenden Tropfen oder sich ausbreitenden Wellen usf.). 2. zeigen sich beim Vergleich verschiedener Systeme höchst merkwürdigerweise in dem einen Zeitpunkt überall die niedrigen Zustände gleichzeitig, in einem anderen überall die hohen. Damit ist gesagt, daß in einem beliebig herausgegriffenen Zeitpunkt die *ganze* Welt, sofern sie sich überhaupt ändert, *zugleich* höher oder *zugleich* niedriger wird: überall herrscht die gleiche zeitliche Ablaufsrichtung. Wird schließlich nur von einem einzigen System noch 3. festgestellt, daß es, wenn es sich überhaupt ändert, nie zu verschiedenen Zeiten gleich hohe Zustände annimmt, so ist gesagt, daß dort und folglich überall die Zustände nur monoton sich ändern können, d. h. sich immer erhöhen oder sich immer erniedrigen müssen: die gleiche Ablaufsrichtung herrscht auch *immer*.

Nur diese drei topologischen Erfahrungstatsachen garantieren die Einsinnigkeit einer gewissen objektiven Größe „Zeit", den objektiven Unterschied von Vergangenheit und Zukunft. Sie sprechen Beziehungen aus, die uns in verschwommener Weise aus dem Alltag geläufig sind, aus all den Fällen, wo Temperaturen sich ausgleichen, Flüssigkeiten zerspritzt, feste Körper zertrümmert werden. Auch alle biologischen und historischen „Entwicklungen" verlaufen nach unseren drei topologischen Gesetzen. Freilich läßt sich in Biologie und Geschichte nur verschwommen angeben, was unter „hoher" und „niedriger" Entwicklungsstufe zu verstehen ist. Immerhin aber finden wir nirgends das eine Mal z. B. die Saurier (oder Griechen) hoch und zugleich die Säuger (oder Römer) niedrig, das andere Mal übers Kreuz die Saurier (oder Griechen) niedrig und zugleich die Säuger (oder Römer) hoch entwickelt. In der Biologie besonders besagt überdies das sog. DOLLOsche Gesetz, daß Organismen, auch wenn sie sich rückentwickeln — Schmarotzer — niemals zu genau der gleichen Form gelangen, die sie einmal schon durchlaufen hatten. Exakt schließlich sind — in unserer Weltperiode — die drei Voraussetzungen erfüllt in der Physik, und zwar überall dort, wo in abgeschlossenen Systemen die Entropie definiert ist. Im zweiten Hauptsatz der Wärmelehre also — was er sonst noch physikalisch aussagt, ist hier nicht von Belang — ist die Ungleichwertigkeit von Vergangenheit und Zukunft eingeschlossen, wie schon BOLTZMANN angedeutet hat. Mit dem Ablauf in einem entropischen System lassen sich nun ohne weiteres alle nach Differentialgesetzen ablaufende Reihen synchronisieren, d. h. zeitlich vergleichen, ein Vergleich, der dann ergibt, welcher Differentialvorgang zeitlich vorhergeht, welcher nachfolgt, d. h. was Ursache ist, was Wirkung. Nur der topologische Kern des zweiten Hauptsatzes bzw. des allgemeineren Irreversibilitätssatzes aber gewährleistet bei dieser Namengebung die Eindeutigkeit und Widerspruchslosigkeit. Nur er nämlich garantiert, daß die Namengebung von der Wahl des entropischen Vergleichssystemes unabhängig ist, und daß nie in zwei Kausalreihen übers Kreuz hier die Ursache mit der Wirkung dort und hier die Wirkung mit der Ursache dort gleichzeitig wird.

II.

Unsere axiomatische Darstellung der Einsinnigkeit der Zeit erfordert noch einige Ergänzungen.

1. Gleichzeitigkeit an derselben Raumstelle (Inzidenz) darf undefiniert in Axiome eingehen, die oben auch vorausgesetzte Gleichzeitigkeit an verschiedenen Raumpunkten aber erfordert Angabe eines Kennzeichens. Dieses läßt sich jedoch in der relativitätstheoretisch üblichen Weise durch Lichtsignale angeben. Bekanntlich wird dabei von dem Ablaufsinn der Zeit noch nicht Gebrauch gemacht.

2. Eine Axiomatik der Zeit wurde schon öfters entwickelt, dabei jedoch der einsinnige Ablauf meist ohne weitere Zerlegung als Axiom postuliert[1]). Für unseren Problemkreis lehrreich ist nur eines dieser Axiomsysteme, das nur die Gleichzeitigkeit in einem Punkt voraussetzt, in jedem Raumpunkt P das früher oder später aber durch Abgang und

[1]) H. REICHENBACH, Axiomatik der relativistischen Raum- und Zeitlehre (Die Wissenschaft **72**). Braunschweig 1924. C. CARATHEODORY, Zur Axiomatik der spez. Rel.-Theorie, Berlin. Akad.-Ber. 1924; R. CARNAP, Die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit, Kantstudien **30**. 1925; K. LEWIN, Zeitschr. f. Phys. **13**. 1923. Die folgende Kritik bezieht sich auf REICHENBACH, a. a. O. S. 19ff.

Ankunft eines von P ausgehenden und wieder nach P reflektierten Lichtsignales zu definieren versucht. Hier wäre also die Definition von Vor- und Nachzeitigkeit gegründet bloß auf Kausalreihen: unsere Heranziehung der Irreversibilität erschiene überflüssig. Ohne Kenntnis des Ablaufsinnes der Zeit ist jedoch Abgang und Ankunft des Signals nicht gegeneinander gekennzeichnet, denn auch die Entscheidung, ob das Signal „von" rechts oder „von" links kommt, erfordert selbstverständlich schon die Kenntnis von früher und später. Die Definitionsmethode muß sich also verfeinern. Sie läßt daher das Signal von A z. B. gefärbt abgehen und bei der Rückreflexion in B in seiner Farbe geändert werden: der Abgang wäre also z. B. rot, die Ankunft violett, Abgang und Ankunft wären definiert. Nehmen wir aber an, in einem anderen Punkt gehe umgekehrt ein Signal violett „ab" und treffe rot wieder „ein"! Ist dadurch auch der Zeitsinn dort umgekehrt? Wenn dies in Übereinstimmung mit der Alltagssprache abgelehnt wird, muß behauptet werden — und dies ist der springende Punkt — es existiere ein Merkmal, das Abgang und Ankunft des Signals in nicht vertauschbarer Weise zu kennzeichnen fähig ist, ein Merkmal also, das unseren drei Axiomen genügt. Farben, d. h. Wellenlängen können diesen Dienst offenbar nicht leisten, sondern selbstverständlich nur ein *irreversibel* veränderlicher Parameter. Damit sind wir wieder bei der Irreversibilität angelangt: mit Signalen, d. h. Kausalreihen, d. h. Differentialgesetzen allein ist der Unterschied von früher und später nicht definierbar.

3. Der räumlichen *Ausbreitung* aller Wellen dagegen ist Einsinnigkeit des Ablaufs wieder aufgeprägt. Die Wellengleichung für ein homogenes und isotropes Medium z. B. gibt ja ebenso Wellen wieder, die sich in Kugelflächen ausbreiten, wie solche, die in Kugelflächen sich zum Zentrum zusammenziehen: trotzdem lassen sich auslaufende Wellen leicht erzeugen und beobachten, nie aber einlaufende. Dieser Gegensatz zwischen Differentialgleichung und Erfahrung zeigt wieder die Naturtendenz nach *Zerstreuung* der Energie, beruht also wieder nur auf der allgemeinen Irreversibilität der Makrovorgänge. Theoretisch nämlich ließe sich ja längs einer Kugelfläche der gleiche Erregungszustand überall herstellen, so daß nach dem HUYGENSschen Prinzip sowohl die nach außen sich ausbreitende als die zum Zentrum sich zusammenziehende Kugelwelle in Erscheinung träte. Einer solchen Erzeugung steht nur eine technische Schwierigkeit entgegen — dieselbe nämlich, die es uns auch verbietet, in einem sich ausgleichenden Gas jedes Molekül einzeln mit einer Zange zu fassen und seine Geschwindigkeit umzukehren, auf daß dann die Entropie abnehme. Wollen wir aber die zentripetale Welle durch Reflexion einer zentrifugalen an einem Hohlspiegel erzeugen, so wird wieder der Spiegel sich nicht so exakt schleifen lassen, daß seine Teile bei Mikrobetrachtung genügend geordnet wären. Sämtliche Erzeugungsmethoden also versagen; „von selber" aber kommt eine längs einer Kugelfläche „geordnete" Erregung nicht vor — ebensowenig wie alle anderen geordneten Mikrokonstellationen. Auslaufende Wellen also lassen sich zwar zur Definition des früher und später ebenso verwenden wie jeder andere irreversible Vorgang: eine Sonderstellung gerade der Wellenausbreitung im Problem des Ablaufsinnes der Zeit aber liegt nicht vor[1]).

Eine bemerkenswerte Sonderschwierigkeit besteht nur, wenn es sich speziell um *elektromagnetische* Wellen im *Vakuum* handelt. Dort nämlich scheitert die Erzeugung der einlaufenden Welle nicht erst an der technischen Unmöglichkeit, Mikrobestandteile zu ordnen, sondern schon an der merkwürdigen Tatsache, daß wir als materielle Wesen immer nur an der Materie, nie am Feld anpacken können[2]). Können wir doch vom Feld aus ungeordnete Erregungen ebensowenig erzeugen wie geordnete. Zur Erregung einer zentripetalen Welle müßten wir vielmehr erst eine Wellenfläche mit Elektronen besetzen, hätten aber dann nicht mehr die genaue Umkehrung der auslaufenden Welle verwirklicht, bei der ja Materie nur im Wellenzentrum sitzt. Abgesehen von der Irreversibilität (bzw. dem zweiten Hauptsatz) hängt also die Asymmetrie von Ursache und Wirkung, d. h. der Ablaufsinn der Zeit ein wenig auch mit der Auszeichnung der Materie vor dem Feld zusammen. Da sowohl die Verknüpfung zwischen Materie und Feld als auch die eigentliche Grundlage der Irreversibilität, nämlich die Konstellation „Unordnung", derzeit noch nicht restlos geklärt sind, wäre es sogar möglich, daß jenes Dunkel, in dem alle Kühe schwarz sind, hier wirklich eine gemeinsame Wurzel noch verhüllt: einen Zusammenhang zwischen Irreversibilität und den Verknüpfungsgesetzen Materie-Feld. Direkt aber hängt die Asymmetrie von Ursache und Wirkung jedenfalls nur an der allgemeinen Irreversibilität der Makrovorgänge — woher immer auch die Irreversibilität selber entspringen mag.

4. Eine Definition des Ablaufsinns der Zeit, die wie die unsere bloß auf die Irreversibilität bzw. den engeren zweiten Hauptsatz gestützt ist, gilt bloß makroskopisch. Bei Mikrovorgängen — BROWNsche Bewegungen — bei denen z. B. auch Entropieabnahmen vorkommen, wäre auch die Zeitrichtung nicht definiert. Der Ablaufsinn läßt sich aber durch Interpolation auch auf Mikrovorgänge erweitern, wenn die Transitivität des Später festgelegt und die Beziehung „zeitlich zwischen" auch bei Mikrovorgängen gegeben ist. Zum Vergleich: wenn nur feststellbar ist, daß NIELS BOHR dem ARCHIMEDES nachfolgt, zwischen GALILEI und NEWTON aber die Zeitrichtung un-

[1]) Vgl. dagegen H. WEYL, Philosophie der Naturwissenschaft. Handbuch der Philosophie, herausgeg. BÄUMLER-SCHRÖTER, München und Berlin 1926. Abt. II A, S. 149.

[2]) Vgl. ebenda S. 133.

konstatierbar wäre, läßt sich doch aus dem Umstand, daß GALILEI *zwischen* ARCHIMEDES und NEWTON, NEWTON *zwischen* GALILEI und BOHR lebte, die Kenntnis gewinnen: NEWTON lebt *später* als GALILEI.

5. Unsere Definition der Zeitrichtung reicht klarerweise nicht weiter als die Irreversibilität. Nun hat diese bekanntlich auch in Makrosystemen Schranken, denn der von POINCARÉ-ZERMELO-CARATHEODORY bewiesene Wiederkehreinwand hat gezeigt, daß abgeschlossene Systeme nach sehr langer Zeit schließlich ihre Anfangsentropie wieder erreichen müssen, der LOSCHMIDTsche Umkehreinwand — Umkehr aller Molekelgeschwindigkeiten — hat erwiesen, daß theoretisch auch Systeme mit Entropieabnahmen sich konstruieren lassen. Diese Einschränkungen brauchen uns indes nicht zu bekümmern. Entweder nämlich, die Entropie nimmt bei der Durchbrechung des zweiten Hauptsatzes überall zugleich ab: dann ist ein Ablaufsinn wieder gegeben. Oder aber Ab- und Zunahmen gehen wirr durcheinander: dann verliert eben das Früher seinen Vorrang vor dem Später. Mehr wird sich physikalisch wohl nicht erreichen lassen. Philosophisch ist sogar eine Festsetzung recht befriedigend, die aussagt, nur vorübergehend, nur im Rahmen je einer einzigen POINCARÉ-ZERMELO-Periode des Milchstraßensystems — eine Zeit, die freilich sehr groß ist gegen unser Leben — stelle sich der objektiv wenig wichtige Wesensunterschied von früher und später, von Ursache und Wirkung ein. Im großen betrachtet hätte dann die Zeit ebensowenig eine bevorzugte Richtung wie die drei reellen Weltdimensionen, ebensowenig wie der Raum. Für diese Hyper-Makrobetrachtung verschwände dann auch die Ursache völlig vor der Funktion.

6. Wir haben Ursache und Wirkung durch Vergangenheit und Zukunft unterschieden. Nun ist auf den noch umstrittenen Gebieten der Quantentheorie bisweilen vermutet worden, es könnten gewisse Mikrovorgänge nicht von der Vergangenheit, sondern von der Zukunft „verursacht" sein. Die Leistungsfähigkeit dieser Vermutung ist hier nicht zu untersuchen, zu beachten dagegen ist, daß schon in der klassischen Mechanik die Gegenwart ganz ebenso von der Zukunft determiniert ist wie von der Vergangenheit. In der angeführten Fassung wäre also die vermutete Verursachung seitens der Zukunft eine Selbstverständlichkeit. Gemeint jedoch ist etwas anderes. Im BOHRschen Modell z. B. beginnt nach dem Energiesatz das Elektron schon im Moment des Absprungs von der Quantenbahn zu strahlen, und zwar mit bestimmter Frequenz, bestimmt aber ist die Frequenz *sowohl* durch das vergangene Ausgangs- *als auch* durch das zukünftige Endniveau. Die Annahme besagt also — und TETRODE hat eine verwandte Annahme mathematisch formuliert[1]) — ein Vorgang sei verursacht erst durch die Vereinigung seiner Vergangenheit und seiner Zukunft oder allgemeiner ausgedrückt: erst die Zustände in *zwei*, und zwar voneinander *getrennten* Zeitpunkten reichen aus, um ein Geschehen zu determinieren. Auch hier ist der Vergleich mit der klassischen Mechanik lehrreich. Auch in der klassischen Mechanik nämlich sind bei allen Variationsproblemen Vorgänge — etwa nach dem HAMILTONschen Prinzip — determiniert erst durch die Angabe von Anfangs- *und* Endzustand. Genau so ist z. B. die Brachystochrone erst festgelegt, wenn außer dem Anfangs- auch der Endpunkt gegeben ist — freilich nur deshalb, weil über die Richtung Angaben fehlen. Die Fixierung von Anfangspunkt und Richtung im Anfangspunkt dagegen würde natürlich die Angabe des Endpunktes entbehrlich machen. Und dies gilt wohl allgemein: Zustände müssen physikalisch stets durch Zustandsvariable, durch irgendwelche Parameter gekennzeichnet werden. Ob man nun sagt, der Ablauf des Zustands sei determiniert durch die Angabe der Parameterwerte für *zwei* Zeitpunkte, oder ob man sagt, der Zustand sei determiniert erst durch doppelt soviel Parameter in *einem* Zeitpunkt, das ist wohl logisch gleichwertig. Die Möglichkeit, daß noch unbeachtete Parameter einen realen Zustand gleichfalls mit kennzeichnen könnten, wird sich ja kaum jemals a priori ausschließen lassen. In der klassischen Mechanik z. B. sind alle Abläufe determiniert durch die Anfangskoordinaten und die Anfangsgeschwindigkeiten der Massen. Würden in einer anderen Mechanik Koordinaten und Geschwindigkeiten erst zweier Zeitpunkte den Ablauf determinieren, so hieße das nur, der Ablauf sei bestimmt außer von den q und $\dot{q}$ von noch zwei weiteren Parameterarten (z. B. von den $\ddot{q}$ und $\dddot{q}$). Die Koordinaten wären also mit der Zeit durch viel kompliziertere Gesetze (z. B. durch Differentialgleichungen vierter Ordnung) verknüpft. Es ist Sache der Erfahrung, zu entscheiden, ob die Naturgesetze komplizierter, die Arten der festzulegenden Parameter zahlreicher sind als die von der heutigen Physik verwendeten: eine grundsätzliche Umgestaltung des Gesetzes- und Kausalbegriffes aber liegt in der „Verursachung seitens der Zukunft" wohl kaum.

[1]) Zeitschr. f. Phys. 10, 317ff. 1922.

III.

Jedenfalls haben wir die Scheidung von unabhängigen und abhängigen Variablen zurückgeführt auf zwei miteinander verwobene Tatsachen: auf den Unterschied zwischen reaktiv erfaßbaren und nicht erfaßbaren Naturumständen und auf den Unterschied von vor- und nachzeitig. Hervorgehoben aber muß werden, daß beide Unterschiede bei nicht wenigen funktionalen Verknüpfungen in der Natur gar nicht auftreten. Es bestehen also auch Naturgesetze, die dem Alltagsschema Ursache-Wirkung entzogen sind.

Zu ihnen gehören zunächst jene physikalischen Gesetze, in denen *keine* der Variablen unserem Eingriff direkt zugänglich ist. Im KIRCHHOFFschen Gesetz z. B. sind Absorption und Emission funktional miteinander verknüpft, keiner der bei-

den Koeffizienten aber kann zur Erzeugung des andern benützt werden, beide kennzeichnen ein Materiestück stets gleichzeitig: keiner kann Ursache des andern heißen. Dagegen ließe sich — etwa durch Druckänderung — die Absorption mit der Emission *zugleich* verändern. Will man also den Kausalbegriff auch hier einführen, so müßte man von zwei Wirkungen einer dritten, im Gesetz gar nicht enthaltenen Ursache sprechen. All die zahlreichen funktionalen Beziehungen zwischen Materialkonstanten gehören zu diesem Gesetzestyp, z. B. das WIEDEMANN-FRANZsche Gesetz, das elektrische und Wärmeleitfähigkeit verknüpft. Tritt, wie dies häufig der Fall ist, in einem solchen Materialkonstantengesetz als Variable auch die Temperatur auf, die sich ja willkürlich abändern läßt, so kann diese, wenn man will, als Ursache, die Gesamtheit der Materialkonstanten als Wirkung aufgefaßt werden.

Viel interessanter ist der entgegengesetzte Typus von Gesetzen, in dem *alle* Variablen unseren Reaktionen direkt zugänglich sind. In solchen „doppelsinnigen" Gesetzen können wir beliebig in beiden Richtungen reagieren: Ursache und Wirkung sind vertauschbar. Als anschauliches Beispiel sei ein zwangsläufiger Mechanismus vom Hebeltypus angeführt: Senkung des linken Hebelarms hebt den rechten, Hebung des rechten senkt den linken. Nichtkinematische Beispiele bieten die Abbildungsgesetze der geometrischen Optik, bietet die ideale Gasgleichung $pv = RT$. Da sie drei Variable, den Druck p, das Volumen v und die Temperatur T enthält (R ist bekanntlich eine Konstante), wollen wir — was niemand verbieten kann — das Produkt pv zu einer einzigen Variablen zusammenfassen. Vergrößern wir nun dieses Produkt, indem wir z. B. in einem pneumatischen Feuerzeug adiabatisch komprimieren, so steigt die Temperatur z. B. auf 500°. Heizen wir aber den Kolben durch eine daruntergestellte Flamme auf 500°, so nimmt das Produkt pv den vorhin durch Kompression erzielten Wert an. Erst die Mikrobetrachtung würde zeigen, daß die jeweilige „Wirkung" etwas später eintritt als die Gewichtsauflage auf den Stempel bzw. die Annäherung der Heizflamme. Der Gasgleichung selber aber ist Sukzession völlig fremd: in ihr sind Ursache und Wirkung vertauschbar. Ebenso steht es schließlich beim OHMschen Gesetz. Da wieder drei Variable auftreten, Spannung E, Stromstärke i, Widerstand W, wollen wir es in der Form schreiben $E = iW$ und das Produkt iW wieder als *eine* Variable auffassen. Erzeugen wir nun eine gewünschte Spannung durch Anschluß des Leiters an einen entsprechend gewählen Akkumulator, so erhalten wir das zugehörige Produkt iW. Erzeugen wir dagegen bei beliebiger Stromquelle den gewünschten Wert von iW durch Regulierung eines Rheostaten, so erhalten wir an den Klemmen den zugehörigen Spannungsabfall. Wieder würde zwar die Mikrobetrachtung zeigen, daß beidemal die „Wirkung" dem „verursachenden" Klemmenanschluß bzw. der Rheostatenverschiebung nachfolgt: im OHMschen Makrogesetz selber aber sind beide Seiten gleich gut als Ursachen wählbar.

Einige Worte erfordert das Verhältnis solcher, nach beiden Seiten durchlaufbarer Makrogesetze zum Prinzip von LE CHATELIER-BRAUN. Bekanntlich sagt dieses aus: wenn die Vergrößerung von x ein y vergrößert, so erzeugt die Vergrößerung des y umgekehrt *Verkleinerung* des x, wofür die LENZsche Regel, die Beziehung von Thermostrom und Peltiereffekt usf. allbekannte Beispiele bieten. Die oben angeführten „doppelsinnigen" Gesetze scheinen diesem etwas verschwommenen Prinzip zu widersprechen. Es bestehen jedoch z. B. für Thermoelemente zwei *verschiedene* Gesetze. Das erste über die thermoelektrische Spannung besagt: wenn das Element *von sonstigen elektromotorischen Kräften frei ist*, gehört zu jedem von außen erzeugten Temperaturunterschied der Lötstellen eine gewisse Spannung und umgekehrt. Das zweite über den Peltiereffekt sagt: wenn das Element *sonst kein Temperaturgefälle hat*, gehört zu jeder von außen angelegten Spannung ein gewisser Temperaturunterschied der Lötstellen und umgekehrt. Das LE CHATELIERsche Prinzip sagt nun nichts über die stets mögliche Umkehrung eines dieser beiden Gesetze — reaktiv eingreifen freilich können wir nach jedem der beiden nur einseitig — sondern es besagt, wie die zwei verschiedenen Gesetze sich zueinander verhalten, besagt, daß ihre Vereinigung mit dem zweiten Hauptsatz übereinstimmt. Und dies gilt ganz allgemein: stets bezieht sich das LE CHATELIERsche Prinzip auf das Zusammenspiel zweier verschiedener Gesetze[1]). Oben dagegen hatten wir je ein einziges Gesetz umgekehrt, d. h. bald auf der linken, bald auf der rechten Seite *derselben* Gleichung reaktiv eingegriffen.

Abschließend können wir nunmehr zusammenfassen. Die physikalischen Mikrogesetze enthalten, soweit sie Differentialgleichungen sind, stets die Zeit als Variable. Von den aus ihnen ableitbaren Makrogesetzen dagegen enthalten manche die Zeit, manche nicht. Unter den Makrogesetzen gibt es viele, in denen die Variablen nicht in gleicher Weise dem Eingriff reagierender Menschen zugänglich sind. Dies sind immer Gesetze, die entweder direkt zeitliche Abläufe regeln, oder in denen Abläufe noch deutlich durchschimmern. In solchen und nur in solchen Gesetzen sind Ursachen und Wirkungen gegeneinander geschieden. Der Unterschied hängt dabei, abgesehen von der reaktiven Erfaßbarkeit, an der Einsinnigkeit der Zeit, diese aber beruht objektiv nur auf der Irreversibilität

[1]) Es ist bekanntlich bisweilen nicht der 2. sondern der 1. Hauptsatz, der das Zusammenstimmen beider Gesetze verlangt (z. B. LENZsche Regel). Bekanntlich gilt ferner das CHATELIERsche Prinzip nicht allgemein (Explosionen).

unserer Makrowelt[1]). Andere, und zwar die Zeit nicht enthaltende Makrogesetze verknüpfen entweder Variable, von denen keine dem menschlichen Eingriff zugänglich ist, oder aber alle ihre Variablen sind gleich erfaßbar. Hier verliert der Ursachenbegriff seine Bedeutsamkeit.

Physikalisch mögen diese Begriffsklärungen mehr oder weniger selbstverständlich scheinen. Sehr notwendig sind sie jedenfalls für andere Forschungsgebiete, auf denen — Jahrzehnte nach der Wirksamkeit MACHS — verschwommen gehandhabte Kausal- und Gesetzesvorstellungen unfruchtbare Erörterungen verschulden. Denken wir z. B. — abgesehen von der Biologie — an das Problem der historischen Gesetze. *Wenn* historische Gesetze bestehen, könnten es selbstverständlich nur Makrogesetze sein. Nun dreht sich z. B. der ganze Streit um die „materialistische" Geschichtsauffassung um die Frage, ob die wirtschaftlichen oder die mit ihnen verflochtenen kulturellen, religiösen, künstlerischen Gebilde abhängig oder unabhängig variabel sind. In Makrogesetzen aber ist es alles weniger als selbstverständlich, daß abhängige gegen unabhängige Variable überhaupt sich immer scheiden lassen. Auch solche außerphysikalische Fragen werden nur durch empirische Einzelforschung beantwortet werden. Da aber reinliche Begriffe auch dem Empiriker unentbehrlich sind, könnte der Vergleich mit der vollendetsten empirischen Wissenschaft, könnte die Vertrautheit mit den Denkmitteln der theoretischen Physik in gar manchen geisteswissenschaftlichen Problemen höchst ersprießliche Dienste leisten.

[1]) Ein interessanter Versuch, mit Hilfe des psychophysischen Parallelismus die physikalische und die subjektive Einsinnigkeit der Zeit, die Irreversibilität und das Gedächtnis miteinander zu verknüpfen bei M. SCHLICK, Naturphilosophie. Die Philosophie in ihren Einzelgebieten herausgeg. von DESSOIR, S. 455f.

Die Geschwindigkeit großer Meteore.

Von ALFRED WEGENER, Graz.

Von seiten derjenigen Astronomen, die sich mit der praktischen Berechnung von Meteorbahnen beschäftigt haben, wie namentlich v. NIESSL und HOFFMEISTER, ist immer wieder hervorgehoben worden, daß die Mehrzahl der Meteore offenbar größere heliozentrische Geschwindigkeiten als 42 km/sek und folglich hyperbolische Bahnen besitzt. Auf der anderen Seite ist aber dies Ergebnis, das ja unleugbar gewisse Schwierigkeiten für das Verständnis der Natur und kosmischen Zugehörigkeit der Meteore mit sich bringt, immer wieder in Zweifel gezogen worden. Um nur ein Beispiel zu nennen, hat vor kurzem SPARROW[1]) in seiner Meteortheorie aus gastheoretischen Überlegungen den Schluß gezogen, daß der Beginn der Leuchterscheinung bei hyperbolischen Geschwindigkeiten in größerer Höhe liegen müßte, als die Beobachtungen zeigen. Es ist deshalb wichtig, über diese Frage Klarheit zu gewinnen.

Der von C. HOFFMEISTER und G. v. NIESSL herausgegebene „Katalog der Bestimmungsgrößen für 611 Bahnen großer Meteore"[2]) bietet eine bequeme Gelegenheit, die Frage an der Hand der geschätzten Geschwindigkeiten statistisch zu untersuchen. Bei den großen Meteoren dauert die Leuchterscheinung meist etwa 5—10 Sekunden und gestattet daher eine schärfere Schätzung als bei den Sternschnuppen. Die für ein bestimmtes Meteor abgeleitete Geschwindigkeit ist außerdem bereits aus den Angaben verschiedener, oft zahlreicher Beobachter zusammengesetzt und nur dann mitgeteilt, wenn sie einigermaßen verläßlich erscheint. Der genannte Katalog enthält in diesen Fällen sowohl die geozentrische wie die heliozentrische Geschwindigkeit. Diese Angaben bilden ein wertvolles Material, das in vollem Umfange bisher für unsere Frage noch nicht verwertet worden ist. Dies soll im folgenden versucht werden.

A. Die unkorrigierten Katalogwerte.

Im Katalog ist die geozentrische Geschwindigkeit für 489, die heliozentrische für 484 Fälle mitgeteilt[1]). Das einfache arithmetische Mittel ergibt:

geozentrische Geschwindigkeit	42 km/sek
heliozentrische „	52 „

Die Verteilung der Einzelwerte ist aus Tabelle 1 ersichtlich, deren Zahlen durch Fig. 1 veranschaulicht werden[2]).

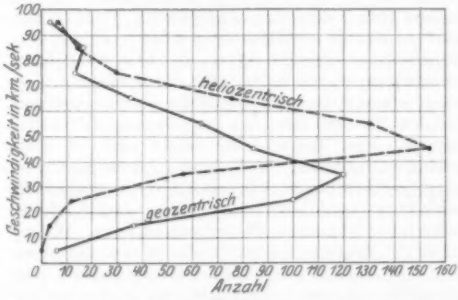

Fig. 1. Häufigkeitsverteilung der geozentrischen und heliozentrischen Geschwindigkeiten nach dem Katalog.

[1]) Astrophys. Journ. **63**, 90. 1926.

[2]) Denkschr. d. Akad. d. Wiss. Wien **100**. 1925.

[1]) Die im Katalog unter gleicher Nummer unter a) und b) aufgeführten Doppelmeteore sind der Einfachheit halber hier stets als zwei behandelt.

[2]) Geschwindigkeiten, die gerade der Grenze zwischen 2 Gruppen entsprechen, sind stets in der höheren Gruppe untergebracht, z. B. 40 km/sek in der Gruppe 40 bis 50 usw.

Wie man sieht, liefern diese Zahlen sowohl für den Mittelwert wie für den häufigsten Wert ausgeprägt hyperbolische Geschwindigkeiten.

Es ist aber von vornherein klar, daß diese Werte, die ja aus der Leuchtbahn innerhalb der Atmosphäre abgeleitet sind, noch kleiner sein müssen als die Eintrittsgeschwindigkeiten, auf die es für unsere Frage ankommt. Daß dies in der Tat der Fall ist, läßt sich aus den Beobachtungen selber zeigen, wenn wir diese nach der Elongation des Meteorradianten vom Apex der Erdbewegung gruppieren. Diese Gruppierung läßt sich leicht durchführen, da der Katalog auch die Elongationen vom Erdapex enthält. In der Tabelle 2 ist diese Gliederung für die geozentrische Geschwindigkeit durchgeführt. In der Gegend des Apex selbst sind allerdings bei großen Meteoren die Radianten so spärlich, daß hier die Gruppenordnung durchbrochen werden mußte und alle zwischen der Elongation $\varphi = 0$ und $\varphi = 40°$ liegenden Radianten zu einer Gruppe mit der mittleren Elongation $\varphi = 28°$ zusammengefaßt wurden. Die übrigen Gruppen entsprechen stets Elongationsintervallen von 10°, und ihre Werte können hinreichend genau als für die Mitte des betreffenden Intervalls gültig angesehen werden. v_g sind die Gruppenmittel der geozentrischen Geschwindigkeit und n die Zahl der Fälle.

Wir können nun diese geozentrischen Geschwindigkeiten mit Hilfe der zugehörigen Elongation vom Erdapex und der Erdbewegung (es genügt der mittlere Wert $l = 29{,}59$ km/sek) in heliozentrische Geschwindigkeiten verwandeln, indem wir (vgl. Fig. 2) die Formeln anwenden:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \nu = \dfrac{l \sin \varphi}{v_g - l \cos \varphi} \\ v_h = \dfrac{l \sin \varphi}{\sin \nu} \end{cases},$$

wo ν der aus Fig. 2 ersichtliche Hilfswinkel ist. Auf diese Weise sind die heliozentrischen Geschwindigkeiten v_h der Tabelle 2 berechnet.

Wären die zugrunde liegenden geozentrischen Geschwindigkeiten Eintrittsgeschwindigkeiten und nicht schon durch die Atmosphäre verringert, so wäre zu erwarten, daß sich für alle Elongationsgruppen die gleiche heliozentrische Geschwindigkeit ergäbe, oder jedenfalls dürften die Zahlen der letzteren keine systematische Abhängigkeit von der Elongation erkennen lassen. Denn der Apex der Erdbewegung fegt im Laufe des Jahres die ganze Ekliptik ab, so daß für eine bestimmte Elongationsgruppe die verschiedensten Himmelsgegenden Beiträge liefern. In Wirklichkeit besteht aber sehr deutlich eine solche Abhängigkeit, wie

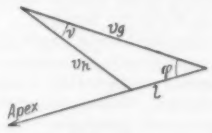

Fig. 2.

man am leichtesten bei der Zusammenfassung in 3 Hauptgruppen erkennt. Die Ursache kann wohl nur darin liegen, daß die Verwandlung in heliozentrische Geschwindigkeiten Eintrittsgeschwindigkeiten voraussetzt, während v_g Geschwindigkeiten sind, die durch den Einfluß der Atmosphäre bereits stark verringert sind. Die wahren heliozentrischen Geschwindigkeiten müssen also jedenfalls größer als die berechneten sein, und es entsteht die Aufgabe, aus den beobachteten atmosphärischen Geschwindigkeiten die außeratmosphärischen zu bestimmen.

Tabelle 1.

	km/sek	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	> 100
Zahl der Fälle für	geozentr. Geschwindigkeit	6	37	100	120	84	63	35	13	17	3		11
	heliozentr. „	0	3	12	56	153	131	75	29	14	7		4

Tabelle 2.

φ	28	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180°	
v_g	70	68	54	54	48	41	37	40	36	34	29	34	26	28	24		km/sek
n	26	11	23	31	55	68	54	60	40	42	26	19	15	12	7		
v_h	46	52	44	49	49	48	49	56	55	56	54	61	54	57	54		km/sek
			48,1					52,6					56,1				„

B. Ermittelung der außeratmosphärischen Geschwindigkeiten nach der Verhältnismethode.

Die beobachteten Werte v_g, als geozentrische Eintrittsgeschwindigkeiten betrachtet, können nur mit zwei Fehlern behaftet sein: einerseits der Fehlschätzung und andererseits der wirklichen Verkleinerung, welche die Eintrittsgeschwindigkeit durch den Luftwiderstand erfahren hat. Der Schätzungsfehler selbst kann natürlich beim Einzelfall sehr groß sein; aber bei der statistischen Behandlung einer genügenden Anzahl von Fällen wird der zufällige Anteil dieses Fehlers im wesentlichen ausgeschaltet sein und nur ein etwaiger systematischer Anteil übrigbleiben. Daß letzterer sehr beträchtlich ist, dürfte wenig wahrscheinlich sein. Vor allem dürfte aber die Annahme genügen, daß er in der Benutzung einer unrichtigen Zeiteinheit besteht, so daß große Geschwindigkeiten um den gleichen Bruchteil verfälscht werden wie kleine. Solange diese Annahme zutrifft, hebt sich der Fehler aus der folgenden Methode heraus. Viel

größer muß ohne Zweifel die tatsächliche Verringerung der Eintrittsgeschwindigkeit durch den Luftwiderstand sein. Ihr Betrag läßt sich a priori nicht angeben. Ist aber auch hier die Bedingung erfüllt, daß *alle Geschwindigkeiten durch den Luftwiderstand um denselben Bruchteil verringert* werden, so hebt sich auch dieser Einfluß aus der im folgenden benutzten Methode heraus.

Daß diese der Rechnung zugrunde liegende Annahme einer prozentisch konstanten Verfälschung der Eintrittsgeschwindigkeiten exakt zutrifft, ist kaum anzunehmen. Völlige Klarheit hierüber zu erhalten, ist mir nicht gelungen. Aber soviel dürfte sicher sein, daß wir mit dieser Annahme der Wahrheit bereits ziemlich nahekommen, so daß die aus dieser Annahme abgeleiteten heliozentrischen Geschwindigkeiten der großen Meteore gegenüber den unkorrigierten Werten die Rolle einer zweiten Näherung spielen.

Die im folgenden benutzte Methode beruht darauf, daß wir nicht die Absolutwerte der beobachteten geozentrischen Geschwindigkeiten benutzen, sondern nur das Verhältnis derselben für die verschiedenen Elongationen vom Apex. Trifft die obengenannte Annahme bezüglich der Fehler zu, so bleibt dies Verhältnis fehlerfrei und gestattet eine exakte Berechnung sowohl der mittleren heliozentrischen Geschwindigkeit als auch des Verkleinerungsfaktors, dem die Eintrittsgeschwindigkeiten unterliegen.

In Fig. 3 sei M die Erde und MA ihre Bewegungsrichtung. 1 M, 2 M, 3 M usw. sind die geozentrischen Geschwindigkeiten v_g unserer obigen Tabelle, deren jede mit der zugehörigen Elongation φ vom Erdapex eingetragen ist. Wären dies fehlerfreie Eintrittsgeschwindigkeiten, so müßten die Punkte 1, 2, 3 usw. auf einem Halbkreis liegen, dessen Radius die (für alle Gruppen gleiche) heliozentrische Geschwindigkeit ist. MC wäre dann die Erdbewegung, wenn C der Mittelpunkt dieses Kreises ist.

Man kann nun die Aufgabe zunächst graphisch in folgender Weise lösen. Man zeichne die geozentrischen Geschwindigkeiten 1 M, 2 M usw. wie in Fig. 3 in beliebigem Maßstabe. Dann suche man auf MA durch Probieren den Mittelpunkt desjenigen Kreises, der die Punkte 1—15 am besten darstellt, was nach Augenmaß mit beträchtlicher Schärfe möglich ist. Ist so Punkt C gefunden, so stellt MC die Erdbewegung, 29,6 km/sek, dar und liefert damit den richtigen Maßstab der Figur, der von dem anfänglich benutzten abweicht. Der Radius des Kreises, in diesem neuen Maßstab gemessen, ist dann die verbesserte heliozentrische Geschwindigkeit der Meteore, und durch Vergleich der beiden Maßstäbe erhält man den Verkleinerungsfaktor der Eintrittsgeschwindigkeiten.

Auf diesem graphischen Wege erhalte ich als wahre mittlere heliozentrische Geschwindigkeit der Meteore den Wert 63,3 km/sek, und als Verkleinerungsfaktor 0,77.

Natürlich bietet auch die exakte Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate keinerlei Schwierigkeiten. Ich habe die Rechnung durchgeführt und erhalte auf diesem Wege die heliozentrische Geschwindigkeit

$$v_h = 63{,}4 \pm 3{,}0 \text{ km/sek}$$

und den Verkleinerungsfaktor

$$q = 0{,}76 \pm 0{,}05 .$$

Natürlich darf man nicht annehmen, daß hiermit diese Größen wirklich bis auf die angegebenen Fehlergrenzen exakt bestimmt seien. Dies trifft nur dann zu, wenn unsere Voraussetzung, daß die Fehler der geschätzten geozentrischen Geschwindigkeiten proportional den letzteren sind, richtig ist. Immerhin wird diese Annahme stark gestützt durch den Umstand, daß die Beobachtungspunkte 1—15, wie schon die Betrachtung der Fig. 3 lehrt, keine systematische Abweichung von der Kurve des Halbkreises zeigen.

Da auch die zufälligen Abweichungen von diesem Halbkreis verhältnismäßig nicht groß sind, so sieht man, daß die Geschwindigkeitsschätzungen, wenigstens wenn man Mittelwerte von jeweils 20—50 Meteoren benutzt, ein recht brauchbares Material für unsere Frage liefern, dessen Bedeutung man wohl bisher nicht voll gewürdigt hat.

Ein Vorteil unserer graphischen Methode besteht darin, daß man mit dem Zirkel leicht prüfen kann, zu welchen Konsequenzen die Annahme führen würde, daß die wahre heliozentrische Geschwindigkeit der Meteore nur gerade parabolisch (42 km/sek) wäre. Man überzeugt sich leicht, daß sich zwar formal diese Annahme sogar auf unendlich mannigfaltige Weise durchführen läßt, daß wir aber dabei zu Annahmen über die Größe des Faktors q und seine Änderungen mit der Elongation gezwungen sind, die als unwahrscheinlich abgelehnt werden müssen. So liefert unsere Methode einen neuen, und wie ich glaube, sehr schwer zu entkräftenden Beweis für die hyperbolische Natur der Meteorbahnen im Sonnensystem.

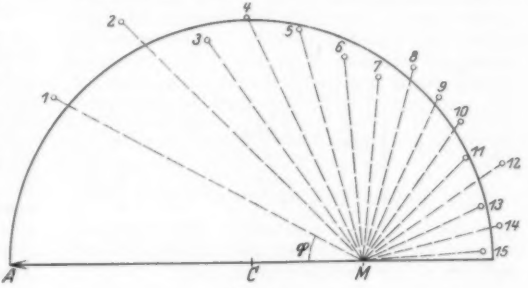

Fig. 3.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Über Krystallbau und optische Aktivität.

Aus Überlegungen, die zum Teil in einem Kolloquium des Kaiser Wilhelm-Institutes f. phys. u. Elektrochemie bereits am 10. Januar d. J. vorgetragen worden sind, folgt, daß die PASTEURschen Anschauungen bzw. die von VAN 'T HOFF-LE BEL über den Zusammenhang von optischer Aktivität und krystallographischer Enantiomorphie einiger Zusätze bedürfen um das gesamte Tatsachenmaterial umfassend darzustellen.

Im wesentlichen muß man dem Rechnung tragen, daß die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes bewirkt wird durch die Rotation einer räumlichen Verteilung von Polarisationselektronen, wobei deren Drehsinn (— ob Rechts- oder Linksumlauf —) die auftretende Drehung der Polarisationsebene festlegt, während es für die krystallographische Enantiomorphie nur auf die sterische Anordnung der Atom- bzw. Molekül- oder Ionenschwerpunkte im Krystallgitter ankommt. Hieraus folgt die Möglichkeit der Existenz von 4 optisch-aktiven Isomeren statt von 2 beim Vorliegen eines einzigen Asymmetriezentrums (jeweils je 2 [— 1 rechts-, 1-linksdrehendes Isomeres —] für eine bestimmte krystallographische sterische Schwerpunktschraubung). Das Vorhandensein von 4 solchen aktiven isomeren gelösten Molekülen ist bei der Weinsäure[1]) [2]) erwiesen.

Durch die unsymmetrische Ladungsverteilung von einzelnen Radikalen am sterischen Asymmetriezentrum wird bewirkt, daß Dipolmoleküle, die dem optisch-aktiven gelösten Molekül in geeigneter Weise sich nähern, eine optische Umkehrung bewirken können. Weiterhin läßt sich das Verhalten optisch-aktiver Körper bei der WALDENschen Umkehrung, Autoracemisation, Drehungsbeeinflussung durch Lösungsgenossen und Multirotation für eine Reihe von Fällen auf einheitlicher Grundlage deuten und ebenso findet das Nichtvorhandensein von 4 verschiedenen aktiven Isomeren in der Mehrzahl der Fälle im Krystallzustand seine Deutung aus den Feldeigenschaften des Krystallgitters.

Im einzelnen muß auf die demnächst erscheinenden ausführlicheren Mitteilungen a. a. O. verwiesen werden.

Berlin-Dahlem, den 24. Februar 1927.

E. HERLINGER.

[1]) E. VELLINGER, Cpt. rend. hebdom. des séances de l'acad. des sciences **183**, 741. 1926.

[2]) L. LONGCHAMBON, Cpt. rend. hebdom. des séances de l'acad. des sciences **183**, 958. 1926.

Besprechungen.

Handbuch der Physik. Herausgegeben von H. GEIGER und K. SCHEEL. Bd. I. Geschichte der Physik, Vorlesungstechnik, redigiert von K. SCHEEL. Berlin: Julius Springer 1926. VII, 404 S. und 162 Abb. 17 × 25 cm. Preis geh. RM 31.50, geb. RM 33.60.

In Band I des Handbuches ist enthalten: Eine Geschichte der Physik von E. HOPPE (179 Seiten), eine kurze Übersicht über die physikalische Literatur von K. SCHEEL (7 Seiten) eine Abhandlung von TIMERDING über Forschung und Unterricht (22 Seiten) und ein Abschnitt über Vorlesungstechnik von P. MECKE und A. LAMBERTZ (178 Seiten).

Die Darstellung der Geschichte der Physik von E. HOPPE ist besonders gekennzeichnet durch eine sehr straffe Zusammenfassung eines sehr großen sachlichen Inhaltes. Irgendwelche spekulativen Betrachtungen allgemeinerer Natur, etwa über die Entwicklung der physikalischen Wissenschaft im Sinne MACHS, sind prinzipiell vermieden (vgl. auch S. 32 die Bemerkung über MACHS Darstellung des Problems der schiefen Ebene nach STEVIN). Es werden lediglich die historischen Tatsachen möglichst kurz, aber auch möglichst erschöpfend dargestellt. Ein weiteres Kennzeichen ist die weitgehende Heranziehung der originalen Quellen. Fast jede geschichtliche Angabe wird durch ein Zitat belegt, das fast ausnahmslos auf die erste Veröffentlichung zurückgreift und nicht etwa auf andere geschichtliche Darstellungen oder auf die sog. physikalischen Wörterbücher, die um 1800 mehrfach erschienen. Für den Fachphysiker von heute, der selten Zeit haben wird, eine breite, durch geistreiche Betrachtungen ausgeschmückte geschichtliche Darstellung seines Faches in seinen etwaigen Mußestunden zu lesen, scheint diese Darstellungsweise das Richtige zu sein, denn er wird wohl in erster Linie Wert darauf legen, schnell zu den originalen Quellen irgendeines Spezialgebietes vorzudringen. Wertvoll wird die HOPPESche Darstellung auch dadurch, daß sie von einer genauen Kenntnis der Probleme getragen wird, insbesondere auch derjenigen der theoretischen Physik, so daß gerade hier viele wertvolle Aufschlüsse gegeben werden. Allerdings nur, soweit es sich um die klassische Physik handelt, denn die Darstellung schließt mit dem Jahre 1895 ab.

Im einzelnen findet bei der älteren Periode der Physik eine Einteilung nach Völkern statt: Babylonische, ägyptische, griechische, arabische Physik und das Erwachen der Physik im christlichen Europa (bis 1600). Bei der Neuzeit wird zunächst eine chronologische Einteilung vorgenommen; innerhalb der einzelnen Zeitperiode wieder eine sachliche Disposition. Es mag schwierig sein, gerade für die Neuzeit ein besseres Einteilungsprinzip zu finden. Dem Referenten erscheint jedenfalls die Darstellung der älteren Perioden einheitlicher als die der neueren.

An biographischen Notizen werden bei den einzelnen Autoren nur die Lebensdaten angegeben. Für den Gebrauch zum Nachschlagen dürfte es sich empfehlen, die Namen und Lebensdaten an den Rand jeder Seite herauszudrucken, besonders da am Schlusse des Bandes kein Autorenregister, sondern nur ein nicht sehr ins einzelne gehendes Sachverzeichnis vorhanden ist. Die Besonderheiten im Gebrauche eines Geschichtsbuches dürften wohl diese Abweichung von dem sonst sehr guten Schema der äußeren Anordnung des Satzes usw. des Handbuches rechtfertigen.

Die Darstellung ist kurz und prägnant und deswegen vielleicht stellenweise etwas trocken. Eine merkliche Hemmung im glatten Lesen ist dem Referenten nur einmal aufgetreten, nämlich bei einer Bemerkung, welche sich auf die Sage von der Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Krone des Königs Hieron durch Archimedes bezieht. Darüber heißt es (S. 13): „Der Bericht VITRUVS ist nicht nur seiner legenden-

haften Form wegen, sondern wegen der mit den in der uns erhaltenen Schrift über die schwimmenden Körper angewandten Methoden nicht übereinstimmenden Rechnung sicher nicht die Methode des Archimedes." — Auf Seite 111 ist wohl versehentlich Bremszaun statt -zaum (von zäumen) stehengeblieben.

Wiederholt macht der Verf. darauf aufmerksam, wie viele Gesetze in der Physik nach den Urhebern falsch bezeichnet werden. Vieles davon ist längst bekannt, wie z. B., daß die Leydener Flasche eigentlich Kleistsche Flasche heißen sollte. Anderes war dem Referenten neu und interessant, so, daß das Boyle-Mariottesche Gesetz eigentlich von Townley stammt, daß die mechanische Theorie der Gase schon von Daniel Bernoulli 1738 entwickelt ist, daß die Gleichung $\Delta V = 0$ schon Euler bekannt war, daß die temperierte Stimmung schon 1544 von M. Stifel und nicht, wie gewöhnlich angegeben wird, erst 1691 von Werkmeister erfunden worden ist u. a. m.

Der Abschnitt: Vorlesungstechnik von R. Mecke und A. Lambertz ist aus der Bearbeitung eines Kollegheftes für die Vorlesung über Experimentalphysik entstanden, das H. Konen-Bonn den Verfassern als seinen früheren Vorlesungsassistenten zur Verfügung gestellt hat. Von H. Konen stammt auch ein einleitendes Kapitel, das die Bedeutung eines Experimentalkollegs in so trefflichen Worten beleuchtet, daß einiges davon hier wörtlich angeführt sei:

„So verschieden auch die Meinungen über den Stoff oder die Methode des physikalischen Unterrichtes sind, so sehr die Bedingungen von Land zu Land wechseln: darin besteht Übereinstimmung, daß es keinen anderen Weg zur Physik gibt, als die Einführung durch den experimentierenden Unterricht oder den Experimentalvortrag. In dieser Tatsache und in den aus ihr sich ergebenden Folgerungen ist es begründet, daß sich an den deutschen Hochschulen ein für alle Anfänger der Naturwissenschaften und damit auch für die Mediziner gemeinsames Experimentalkolleg erhalten hat. Wo man glaubte, von dieser Unterrichtsform abweichen zu sollen, ist man stets nach einiger Zeit zur altbewährten Einrichtung zurückgekehrt. In ihr steckt ein großer Teil Tradition. Eine Fülle von Versuchen, Kunstgriffen und Techniken sind überliefert. Vereint mit den besten Köpfen der versuchsfreudigen Lehrerschaft aller Grade, haben Akademiker und Hochschullehrer seit den Tagen der Accademia del Cimento ihre Erfindungsgabe angestrengt und unendliche Mühe darauf verwendet, die Grunderscheinungen der Physik in durchsichtiger und eindrucksvoller Weise durch das Experiment im Hörsaal und Schulzimmer vorzuführen und der Anschauung nahe zu bringen. Die immer wiederholte und immer wieder verbesserte Ausführung dieser Versuche ist der Jungbrunnen gewesen, zu dem die Physiker immer wieder zurückgekehrt sind. Die ohne Voreingenommenheit erneute Betrachtung der scheinbar längstbekannten Dinge hat Dozenten und Hörern, Lehrern und Schülern stets geholfen, aus dem Banne überlieferter Schulmeinungen sich zu befreien und der Natur gegenüber jene Unbefangenheit zurückzugewinnen, die die Voraussetzung für die Entdeckung neuer Wege ist. So hat auch der einfache Versuch einen würdigen Platz in einer Wissenschaft, die durch die unerhörte Verfeinerung ihrer Methoden, wie durch die Komplikation ihrer Anordnungen vielleicht alle anderen Naturwissenschaften übertrifft."

Für den Maßstab und den Umfang der Versuche selbst ist ein mäßig großes Auditorium, etwa bis zu 300 Hörern, vorausgesetzt, für die die an den Universitäten übliche Vorlesung von 5 Wochenstunden in 2 Semestern gehalten wird. Obgleich die Beschreibung der einzelnen Versuche angenehm knapp gehalten ist, werden doch über 500 Versuche angeführt. Die Auswahl ist sehr sorgfältig getroffen, auch wichtige Sachen aus jüngster Zeit, wie Magnus-Effekt, Johnsen-Rahbek-Effekt u. a., fehlen nicht. Die Einteilung ist die übliche; der permanente Magnet wird noch vor der Elektrostatik behandelt; Referent zieht es vor, zuerst die Elektrostatik zu behandeln. Auch die elektrischen Kraftlinien lassen sich durch Feilspäne von natürlichem Gips, wenn auch nicht so schön wie die magnetischen durch Eisenfeilspäne, so doch deutlich genug darstellen, so daß es nicht notwendig ist, etwa wegen der bequemen Veranschaulichung der Kraftlinien die komplizierteren magnetischen Erscheinungen voranzustellen.

Außer den Versuchsbeschreibungen selbst werden noch Zeichnungen, Tabellen, Schaltungsschemata gegeben, die meist vor der Vorlesung an der Tafel gezeichnet oder im Diapositiv gezeigt werden, auch Zusammenstellungen von Zahlenwerten, Formeln usw. Bei den Formeln wird mit Recht darauf hingewiesen, daß in der zweimal fünfstündigen Vorlesung die Ableitung von Formeln, Durchführung von Rechnungen auf ein möglichst kleines Maß gebracht werden muß, daß dagegen mehr Wert auf grundsätzliche Erörterungen der *Resultate* von Rechnungen und mathematischen Entwicklungen zu legen ist. Durch diese Einschiebung von Formeln, Definitionen usw. in die eigentliche Versuchstechnik stellt die ganze Darstellung einen auch für weitere Kreise sehr lesenswerten Überblick über einen Lehrgang der Experimentalphysik dar.

E. Regener, Stuttgart.

Handbuch der Physik. Herausgegeben von H. Geiger und K. Scheel. Bd. IX. Theorien der Wärme, redigiert von F. Henning. Berlin: Julius Springer 1926. VIII, 616 S. und 61 Abb. 17 × 25 cm. Preis geh. RM 46.50, geb. RM 49.20.

Von dem reichen Inhalt des Bandes kann im Rahmen einer kurzen Besprechung kaum ein Eindruck vermittelt werden. Obwohl der größere Teil des in dem Buche behandelten Stoffes bereits zum älteren Besitze der Physik gehört, haben es die Verfasser verstanden, es durch sorgfältige Heranziehung aller durch die neuere und neueste Entwicklung hinzugekommenen Tatsachen und Gesichtspunkte zu einem im besten Sinne modernen Buche zu gestalten.

Als besonders erfreulich wird man es insbesondere betrachten, daß dem Bande (als Kap. 4) eine von A. Landé verfaßte Darstellung der *axiomatischen Begründung der Thermodynamik durch* Carathéodory beigegeben ist, die hoffentlich die Verbreitung der immer noch zu wenig beachteten wichtigen und schönen Gedanken von Carathéodory wesentlich fördern wird. Während die Carathéodorysche Abhandlung das Problem in sehr allgemeiner und abstrakter Weise behandelt, erläutert Landé — zum Teil im Anschluß an die von Born gegebene Darstellung — die Grundgedanken Carathéodorys am einfachsten Beispiele eines durch zwei unabhängige Veränderliche (p, V) beschriebenen Systems. Dabei sind auch die ganz kürzlich von T. Ehrenfest-Afanassjewa gegebenen wichtigen Ergänzungen zu Carathéodorys begrifflicher Analyse der Thermodynamik schon berücksichtigt.

Das von K. F. Herzfeld stammende erste Kapitel, *Klassische Thermodynamik*, benutzt dagegen, seinem Titel entsprechend, in der Entwicklung der grundlegenden Begriffe und Sätze die älteren Darstellungs- und Überlegungsweisen, die in sehr übersichtlicher Weise vorgeführt werden. Nach einer Besprechung der Grundbegriffe der Thermodynamik—Zu-

standsgrößen, Volum- und Oberflächeneigenschaften, Temperatur, ideale Gase, Molekulargewicht, Wärmemenge, Zustandsgleichung usf. — wird der erste Hauptsatz mit seinen verschiedenen Folgerungen und Anwendungen entwickelt (spezifische Wärmen, Versuch von GAY LUSSAC, ideales Gas, Kreisprozesse von CARNOT und CLAPEYRON, Calorimetrie usf. Thermochemische Gleichungen, Thermochemische Kreisprozesse, Kreisprozeß von BORN-HABER-FAJANS). Es folgt ein Abschnitt, welcher den zweiten Hauptsatz und die mit ihm zusammenhängenden Begriffe und Gesetzmäßigkeiten ausführlich behandelt: Kreisprozesse, reversible und irreversible Vorgänge, Entropie, Legendretransformationen und Differentialbeziehungen der thermodynamischen Größen, Gleichgewichtsbedingungen usf. Der vierte Abschnitt: „Homogenes System", bespricht die Anwendungen auf ein einheitliches System (kanonische Zustandsgleichung, GRÜNEISENscher Satz, Versuche von GAY-LUSSAC und JOULE-THOMSON, Inversionspunkt, freie Energie von idealen Gasen und reinen kondensierten Stoffen) und auf Gemische (Lösungswärmen, Potentiale von Mischungen, chemische Umsetzungen, Gasgleichgewichte). Der letzte Abschnitt, „Heterogene Systeme", entwickelt und erläutert endlich die *Phasenregel* und gibt eingehendere Auskünfte über Einstoffsysteme und Mehrstoffsysteme.

Dem *Nernstschen Wärmesatz* ist ein besonderes Kapitel, von K. BENNEWITZ, gewidmet. Statt einer deduktiven, von der PLANCKschen Fassung des Satzes ausgehenden Darstellung hat der Verfasser eine enger an die historische Entwicklung anschließende vorgezogen, die ihm zur Erläuterung der vielseitigen Bedeutung des Satzes geeigneter schien. Nachdem in der Einleitung Definition und direkte Bestimmung der *Affinität* ausführlich besprochen sind, wird in einem weiteren Abschnitt das NERNSTsche Theorem für kondensierte Systeme aufgestellt, die Affinität von Systemen von Gasphasen und die chemische Konstante erörtert. Der letzte Abschnitt des Kapitels befaßt sich mit der Thermodynamik der Gasentartung, der PLANCKschen Erweiterung des Satzes, Folgerungen des Theorems und seinem Verhältnis zum Prinzip der Unerreichbarkeit des Nullpunktes.

Im dritten Kapitel behandelt A. SMEKAL die *statistische und molekulare Theorie der Wärme*. Der auf eine kurze Einleitung folgende zweite Abschnitt behandelt die bekannten prinzipiellen Fragen der klassischen statistischen Mechanik; in der Begründung des am Ende gezogenen Schlusses, daß die mechanischen Modelle warmer Körper zu verwerfen seien, werden in einer wohl nicht jedem Leser sympathischen Weise die bekannten quantentheoretischen Gründe für das Versagen der klassischen Statistik mit den mathematischen Schwierigkeiten in ihrer Begründung in Verbindung gebracht. (Der Verfasser glaubt, die mathematische Existenz quasiergodischer Systeme für unwahrscheinlich halten zu müssen.) Der nächste Abschnitt bringt die statistische Theorie der vom Verfasser als „quasimechanisch" bezeichneten Modelle. Neben allgemeineren und grundsätzlichen Erörterungen werden insbesondere die DARWIN-FOWLERschen mathematischen Methoden der Statistik erläutert; weiterhin werden Stationaritätsbedingung und Übergangswahrscheinlichkeiten, thermodynamisches Gleichgewicht, statistische Deutung der Temperatur, BOLTZMANNsches Prinzip und Schwankungsvorgänge besprochen — wobei stets die schönen DARWIN-FOWLERschen Methoden herangezogen bzw. zugrunde gelegt werden. Der vierte, „Statistische Thermodynamik quasistarrer Atome und Moleküle" überschriebene Abschnitt bringt die Anwendungen der allgemeinen Prinzipien auf einatomige und mehratomige Gase und auf Festkörper. Ein als „Statistische Thermodynamik realer Moleküle" bezeichneter Abschnitt behandelt einerseits die Möglichkeit, aus rein thermodynamischen Tatsachen eine eindeutige und exakte Bestimmung der statistischen Gewichte der verschiedenen Zustände herzuleiten, und bringt andererseits eine Besprechung der aus direkteren atomphysikalischen Untersuchungen (Quantentheorie) gewonnenen und für die Statistik bedeutsamen Ergebnisse. Es folgt ein Abschnitt über die Statistik der Strahlung und ihre quantenhafte Wechselwirkung mit Atomen und dann ein letzter über die „Statistische Theorie des chemisch-thermodynamischen Gleichgewichtes".

Kapitel 5, *Quantentheorie der molaren thermodynamischen Zustandsgrößen*, von A. BYK, behandelt in erster Linie die Aussagen der Quantentheorie über die verschiedenen Nullpunktskonstanten der Thermodynamik. Vor allem wird nach einer Erörterung des Zusammenhanges von Entropie und Wahrscheinlichkeit die quantenstatistische Festlegung der Entropiekonstanten und die Ableitung des NERNSTschen Wärmetheorems besprochen. Dabei wird auch auf die TETRODEsche Theorie der Gasentartung ausführlich eingegangen — obgleich doch heute wohl kein Zweifel mehr über die Ungangbarkeit des von dieser Theorie versuchten Weges besteht. Ein weiterer Abschnitt beschäftigt sich mit der Nullpunktsenergie; der Verfasser sagt, daß statistisch-thermodynamische Untersuchungen (spezifische Wärme des H_2) zu keiner Entscheidung zwischen der I. und der II. PLANCKschen Theorie geführt haben, bringt jedoch nicht zum Ausdruck, daß die II. Theorie durch direktere Experimente (STERN-GERLACH) widerlegt worden ist und heute keine Anhänger mehr besitzt. Den Beschluß des Kapitels bildet eine ausführlichere Erörterung über das vom Verfasser in mehreren Arbeiten untersuchte Verhältnis der Quantentheorie zum Theorem der übereinstimmenden Zustände.

Es folgt Kapitel 6: *Die kinetische Theorie der Gase und Flüssigkeiten*, von G. JÄGER, Wien. Der Stoff ist folgendermaßen gegliedert: Druck (BOYLE-CHARLESsches Gesetz; Äquipartitionstheorem; Folgerungen aus der Druckformel; das Virial). Das Geschwindigkeitsverteilungsgesetz (MAXWELLs Ableitung; BOLTZMANNS H-Theorem; Entropie eines idealen einatomigen Gases; MAXWELL-BOLTZMANNsches Gesetz). Dichteschwankungen (sehr kleine Schwankungen; Schwankungen bei der kritischen Temperatur). Mittlere Weglänge und Stoßzahl der Molekeln (Voraussetzung gleicher Geschwindigkeiten der Molekeln; Berücksichtigung des MAXWELLschen Gesetzes; Stoßzahl in einem Gasgemenge). Dissoziation (Abhängigkeit vom Druck; von der Temperatur). Innere Reibung, Wärmeleitung, Diffusion und Größe der Molekeln. Verhalten verdünnter Gase (sehr hohe Verdünnung; Gase zwischen normaler Dichte und höchster Verdünnung). Kinetische Theorie der Flüssigkeiten (Ideale Flüssigkeit; osmotischer Druck; verdünnte Lösungen; kolloidale Lösungen). Bezüglich der mathematischen Ableitungen hält sich die Darstellung durchgehend an die älteren, elementaren Methoden. Daß die strengen HILBERTschen Methoden nicht etwa zur Grundlage der Darstellung gewählt wurden, mag damit begründet werden, daß dies eine unerwünschte Einengung des Leserkreises bewirken könnte. (Obgleich heute wohl eine Integralgleichung nicht ein der Mehrzahl der theoretischen Physiker unbekannter Gegenstand ist.) Der Umstand

jedoch, daß HILBERTS Untersuchungen nicht einmal erwähnt sind, scheint sehr unerfreulich. Bei der Besprechung der BROWNschen Bewegung schließt sich der Verfasser der EINSTEINschen Behandlungsweise an; auf die SMOLUCHOWSKIsche Arbeit wird hingewiesen. Es darf vielleicht bei dieser Gelegenheit bedauert werden, daß der Physik der Kolloide innerhalb des Handbuches nicht etwas mehr Raum gewidmet ist. (Z. B. findet sich, soweit ich sehe, kein Bericht über v. SMOLUCHOWSKIS Theorie der Koagulation.)

W. JÄGER, Charlottenburg, bespricht im 7. Kapitel zusammenfassend die *Erzeugung von Wärme aus anderen Energieformen*. Nach einigen historischen Vorbemerkungen ist zunächst über die *Wärmeeinheit* berichtet. Der Verfasser empfiehlt, statt der Calorie künftig das elektrisch definierte Joule zu benützen. Der nächste Abschnitt befaßt sich mit der Umwandlung mechanischer und elektrischer Energie in Wärme; neben einem Bericht über die älteren Messungen ist eine Schilderung der vom Verfasser gemeinsam mit v. STEINWEHR durchgeführten Untersuchungen des elektrischen Wärmeäquivalentes gegeben. Ferner werden die *indirekten Bestimmungen* des Wärmeäquivalents besprochen. (R. MAYER und HOLTZMANN aus den spezifischen Wärmen der Gase, CLAUSIUS aus den Daten des gesättigten Wasserdampfes; elektrisches Wärmeäquivalent aus Messungen von SUTTON und von HENNING.) Der letzte Abschnitt ist den sonstigen Wärmeerzeugungen gewidmet: Hysteresiswärme; radioaktive Wärme; Wärmeumsatz bei Aggregats- und allotropen Umwandlungen; Strahlungswärme; Dissoziationswärme; chemische Wärmetönungen.

Den Beschluß des Bandes bildet ein inhaltreiches Kapitel über *Temperaturmessung* von F. HENNING. Außer den theoretischen Grundlagen werden in erster Linie die Prinzipien und die hauptsächlichsten Instrumente der Temperaturmessung besprochen. Zahlreiche Tabellen erhöhen die praktische Brauchbarkeit des Berichtes. Nach einer Erörterung der theoretischen Grundlagen (historische Entwicklung; thermodynamische Skala; Zusammenhang derselben mit der CLAUSIUS-CLAPEYRONschen Gleichung, dem JOULE-THOMSON-Effekt, den Gasen unendlich geringer Dichte und den Strahlungsgesetzen) werden der Reihe nach ausführlich besprochen: Gasthermometrie (verschiedene Gasthermometer; Empfindlichkeit; Ausdehnungskoeffizienten der Füllgase; absolute Temperatur des Eispunktes; Reduktion auf thermodynamische Skala; Einfluß des Knudseneffekts); sodann die Strahlungsthermometrie (deren verschiedenen Methoden und Problemen mehr als 30 Seiten gewidmet sind); Flüssigkeitsthermometer; Widerstandsthermometer; Thermoelektrische Thermometer; Dampfdruckthermometer; Thermometrische Festpunkte; und zum Schluß einige spezielle Probleme der Temperaturmessung: Messung in der Nähe des absoluten Nullpunktes; an glühenden Oxyden; an durchsichtigen Strahlen; an Fixsternen und an Planeten.

Druck von Text und Formeln sowie die Abbildungen sind wie bei den übrigen Bänden des Handbuches von erfreulicher Klarheit. P. JORDAN, Göttingen.

FRENKEL, J., **Lehrbuch der Elektrodynamik.** Erster Band: Allgemeine Mechanik der Elektrizität. Berlin: Julius Springer 1926. X, 365 S. Preis geh. RM 28.50, geb. RM 29.70.

Die deutsche physikalische Literatur besitzt bereits in dem Buche von ABRAHAM-FÖPPL eine so anerkannte Darstellung der Elektrodynamik, daß es gewagt erscheinen mag, ein neues Werk über diesen Gegenstand zu schreiben. Aber wenngleich das ABRAHAMsche Buch seinerzeit eine in so vielen Punkten unübertreffliche Darstellung des Gebietes gab, so ist doch inzwischen viel Neues hinzugekommen, was Berücksichtigung verlangt. Man wird hieran besonders deutlich erinnert, wenn man das FRENKELsche Buch betrachtet; und man kann kaum zweifeln, daß auch dieses sich einen dauernden Platz sichern wird.

Die Absicht des Buches ist eine rein *sachliche* Darstellung der Elektrodynamik — *historische* Verhältnisse haben absichtlich keinerlei Berücksichtigung gefunden; der Plan des Ganzen ist darauf eingestellt, ohne Rücksicht auf die Wege und Umwege der historischen Entwicklung die logische Struktur der Theorie möglichst durchsichtig darzulegen. Dabei hat der Verfasser besonderen Wert darauf gelegt, Begriffe, die, wie die magnetischen Pole und Dipole, später als fiktive Hilfsbegriffe erkannt werden müssen, von vornherein ganz aus dem Gang der Darstellung zu entfernen.

Der Plan des Gesamtwerkes ist vom Verfasser in Analogie zu der gewöhnlichen Darstellung der theoretischen Mechanik angelegt: Wie in dieser zunächst die diskreten Massenpunkte, und hernach erst die kontinuierlichen Medien behandelt werden, so werden hier in dem vorliegenden ersten Bande die Eigenschaften elektrisch geladener Punkte (Elektronen) und linearer Ströme im leeren Raume betrachtet. Der zweite Band soll später die elektromagnetischen und optischen Eigenschaften der materiellen Körper vom makroskopischen Standpunkt aus erörtern. Ferner hofft der Verfasser, in einem dritten Bande die elektrische Theorie der Atome und Moleküle zu behandeln, falls die Zusammenhänge von Elektrodynamik und Quantenmechanik bis dahin hinreichend geklärt sind.

Was im einzelnen den Inhalt des vorliegenden ersten Bandes betrifft, so bringt eine Einleitung die Grundzüge der Vektor- und Tensorrechnung, unter Beschränkung auf rechtwinklige Koordinatensysteme, in sehr klarer und gründlicher Weise.

Von den drei Abschnitten, in die der weitere Inhalt des Buches geteilt ist, behandelt der erste *die von der Zeit unabhängigen elektromagnetischen Wirkungen*. Das erste, der Elektrostatik gewidmete Kapitel beginnt, abweichend von dem gewöhnlich befolgten Verfahren, nicht mit der Untersuchung elektrisch geladener Punkte, sondern vielmehr elektrischer Dipole als des einfachsten neutralen Systems; erst nachträglich werden die Dipolwirkungen auf Wirkungen einzelner Pole zurückgeführt. Nachdem im zweiten Kapitel die Wirkungen magnetischer Felder auf stationäre Ströme besprochen sind, wird in einem dritten Kapitel die Wechselwirkung von Dipolen und Strömen allgemein entwickelt. In den ersten zwei Kapiteln war aus dem Energieprinzip die *Existenz* der Potentiale φ, $\mathfrak{A}$ hergeleitet; die Art der Abhängigkeit von φ und $\mathfrak{A}$ von den sie erzeugenden elektrischen Ladungen und Strömen wird jetzt abgeleitet aus dem *„Äquivalenzprinzip"*, welches besagt, daß die Wechselwirkungen elektrischer Dipole untereinander und kleiner Stromkreise untereinander bei entsprechenden Größen der Momente formal äquivalent sind; hieraus ergeben sich leicht die vollständigen Gleichungen des zeitlich konstanten elektromagnetischen Feldes. Das vierte und letzte Kapitel des ersten Abschnittes beschäftigt sich ausführlich mit der Potentialtheorie und der Darstellung willkürlicher Systeme durch Multipole.

Es folgt ein Abschnitt über *die von der Zeit abhängigen elektromagnetischen Wirkungen*. Nach einer vorausgehenden Betrachtung der elektromagnetischen Induktion in einem zeitlich konstanten Feld werden mit Hilfe einer speziellen Anwendung des Relativitätsprinzips — Vertauschung einer bewegten und einer ruhenden Stromlinie — die Induktion in einem zeitlich

veränderlichen magnetischen Felde und weiterhin die allgemeinen MAXWELLschen Gleichungen abgeleitet. Es folgt die allgemeine Erörterung der elektromagnetischen Potentiale, der retardierten Potentiale, der Kugelwellen von Dipolen und Multipolen usf. Ein weiteres Kapitel dieses Abschnittes behandelt das elektromagnetische Feld bewegter Elektronen; hier wird das HERGLOTZsche Integrationsverfahren zur Bestimmung dieses Feldes und ferner die Zurückführung der retardierten Fernwirkungen auf momentane gebracht. Das letzte Kapitel dieses Abschnittes betrachtet die Energie und Bewegungsgröße des elektromagnetischen Feldes und die damit zusammenhängenden Probleme: die elektromagnetische Theorie der Masse, die Energie der elektromagnetischen Strahlung, die MAXWELLschen Spannungen und endlich die Dynamik der Elektronen. Hier hat auch das *Magnetelektron* ausführliche Berücksichtigung gefunden. Ferner werden die bekannten grundsätzlichen Schwierigkeiten der Theorie des Elektrons erörtert.

Der letzte Abschnitt des Buches, welcher der (speziellen) *Relativitätstheorie* gewidmet ist, enthält 3 Kapitel: Begründung der Relativitätstheorie; Anwendung der Relativitätstheorie auf die elektromagnetischen Erscheinungen; und: Die relativistische Mechanik. Das erste dieser Kapitel entwickelt zunächst die vierdimensional symmetrische Form der wichtigsten elektromagnetischen Gleichungen und sodann die relativistische Kinematik, die sehr ausführlich und übersichtlich dargestellt wird. Das nächste Kapitel erläutert die Anwendung der Lorentztransformation auf die wichtigsten elektromagnetischen Größen (Feldtensor; Energietensor; Kraft und Drehkraft), ferner die Anwendungen der Transformationsformeln auf geradlinig-gleichförmige und auf beliebige Bewegungen von Elektronen und Oszillatoren. Endlich wird die Ableitung der elektromagnetischen Grundgleichungen aus einem Variationsprinzip dargestellt. (Hier ist versehentlich behauptet worden, daß die zur Eindeutigmachung des Vierervektorpotentials A_i eingeführte Gleichung $\frac{\partial A_i}{\partial x_i} = 0$ eine *Folge* der LAGRANGEschen Gleichungen sei.) Das letzte Kapitel — die relativistische Mechanik — bringt nach der elementaren Theorie der Translationsbewegung das BORNsche Variationsprinzip für die Bewegung des Elektrons in einem gegebenem Felde, zunächst in vierdimensionaler Form und dann in seiner (etwas andersartigen) dreidimensionalen Fassung. Im Anschluß hieran wird auch die kanonische Form der Bewegungsgleichungen und die HAMILTON-JACOBIsche Differentialgleichung besprochen. Nach der Betrachtung einiger spezieller Beispiele (darunter die vor einigen Jahren von FRENKEL ausgeführte exakte Integration der Bewegung eines Elektrons im Felde einer ebenen Welle bei Berücksichtigung der Relativität) werden Virialsatz und Massendefekt abgeleitet. Endlich folgt eine Darstellung der relativistischen Ellipsen- und Hyperbelbewegung eines Elektrons um einen festen Kern, und zuletzt werden die Bewegungsgleichungen des Magnetelektrons — im engen Anschluß an die bekannte Arbeit des Verfassers — vollständig entwickelt.

P. JORDAN, Göttingen.

WOLF, F., **Die schnellbewegten Elektronen.** Stand und Entwicklung der heutigen Kenntnis, mit besonderer Rücksicht auf die Vorgänge beim radioaktiven Zerfall. Braunschweig: Fr. Vieweg & Sohn 1925. 125 S. mit 26 Abbildungen. 14 × 22 cm. Preis geh. RM 7.50.

Die Behandlung der Elektronen in einem Heft der rühmlichst bekannten Sammlung Vieweg kann nur lebhaft begrüßt werden. Die vorliegende Darstellung beleuchtet eine Reihe der hierhin gehörigen Fragen und Tatsachen in klarer und ansprechender Weise. Ob die Beschränkung auf „schnellbewegte" Elektronen notwendig war, erscheint mir allerdings zweifelhaft. In der jetzigen Anlage könnte das Buch fast mit gleichem Recht den Titel tragen: Die β-Strahlen der radioaktiven Stoffe.

Wer den Wert eines solchen Buches nur in einer objektiv kritischen Würdigung der einschlägigen Untersuchungen durch einen Außenstehenden, oder ebenso in einer subjektiv gefärbten Darstellung eines erfolgreichen Forschers auf seinem eigenen Arbeitsgebiet sehen kann, wird bei der Durchsicht des vorliegenden Buches nicht ganz auf seine Rechnung kommen.

Nach einer kurzen historischen Einleitung über die Erscheinungen an Kathodenstrahlen in Entladungsröhren und die Entdeckung der β-Strahlen radioaktiver Stoffe bespricht der Verfasser in 4 Hauptabschnitten

1. die Abhängigkeit der Elektronenmasse von der Geschwindigkeit;
2. die Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Materie;
3. die Geschwindigkeiten der von radioaktiven Stoffen ausgesandten β-Strahlen;
4. die Versuche zur Deutung der β-Strahlspektren.

Ein kurzer Schlußabschnitt berührt die mehrfach von LENARD aufgeworfene Frage, ob bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit die Beschleunigung der wirkenden Kraft noch proportional bleibt und erörtert etwaige Möglichkeiten experimenteller Entscheidung.

Ein willkommenes Literaturverzeichnis führt 111 Nummern auf.

Die Darstellung des Verfassers lehnt sich aufs engste an die LENARDschen Auffassungen an; zumal der Abschnitt über die Wechselwirkung zwischen Elektronen und Materie kann geradezu als leicht lesbarer Auszug aus LENARDs bekanntem, aber nur mühsam durchzuarbeitendem Werk „Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten" bezeichnet werden. Der Verfasser hat sich leider nicht die so dankenswerte Aufgabe gestellt, einmal zwischen den LENARDschen Bezeichnungen und Anschauungen und den heute sich mehr im Anschluß an das BOHRsche Atommodell einbürgernden zu vermitteln, den mit den Dingen weniger vertrauten Leser hierin zu beraten, oder wenigstens im Fall einer Ablehnung der moderneren Auffassungen wirklich stichhaltige Gründe dafür beizubringen. Die Beschreibung durch „Stoßvorgänge" kann man doch nicht mit der Bemerkung abtun, es handele sich nicht um „Stöße", sondern um Wechselwirkung von Kraftfeldern. Genau so läßt sich den vom Verfasser beliebten Worten „Diffusion" und „Absorption" entgegenhalten, daß diese Bezeichnungen sich hier keineswegs mit den sonst in der Physik dafür geltenden Begriffsbestimmungen decken. Auch der Angriff gegen die sogenannte „Scheinintensität" scheint mir sachlich ungerechtfertigt. Es kommt doch stets auf die Begriffsbestimmung an und wer Intensität = Elektronenenergie pro Zeiteinheit setzt, ist schließlich mit der landläufigen Begriffsbestimmung nicht weniger im Einklang als bei der LENARDschen Definition: Intensität = Elektronenzahl pro Zeiteinheit. Merkwürdig berührt auch das kurze Abtun der wunderschönen C. T. R. WILSONschen Nebelspuraufnahmen. Die Wiedergabe einiger solcher Bilder hätte dem nicht unterrichteten Leser sicher besser klargemacht, was

unter Diffusion, Rückdiffusion, Normallauf, Parallelfall usw. verstanden werden soll, als viele Seiten Text.

Manche derartige Stellungnahmen können dadurch verständlich werden, daß dasBuch, wie ich höre, aus einer Heidelberger Staatsexamenarbeit hervorgegangen ist.

Im übrigen ist in dankenswerter Weise stets auf die experimentelle Seite ebenso Gewicht gelegt wie auf die Beobachtungsergebnisse und ihre theoretische Bedeutung; auch ist versucht, den geschichtlichen Werdegang unserer heutigen Erkenntnisse deutlich herauszuarbeiten.

Angesichts des Buchtitels vermisse ich nur ein Eingehen auf die Ionisation durch schnelle Elektronen, die Form ihrer Bahnen und ihre Auslösung durch Röntgenlicht. B. Gudden, Erlangen.

FORESTIER, A., **L'Energie Rayonnante.** Tableaux Synoptiques de l'Echelle des Longreurs d'Onde et des principales caractéristiques du rayonnement électromagnétique avec un résumé des théories actuelles. Préface de M. Marcel Boll. 2. Auflage. Paris: Albert Blanchard 1926. 73 S. und 22 Fig. 19 × 27 cm. Preis Fr. 20.—.

Das Werk gibt in gedrängter Form eine Darstellung der gegenwärtigen Kenntnisse über die strahlende Energie. Die einleitenden Abschnitte — Definitionen, Einheiten, Werdegang der elektromagnetischen und der Elektronentheorie des Lichtes, fundamentale physikalische Konstanten — bringen auf dem Raum von nur 8 Seiten neben den Definitionen und Konstanten die wichtigsten experimentellen Tatsachen, die zur Maxwellschen Theorie führten, dann deren Weiterentwicklung zur Lorentzschen Elektronentheorie, Methoden zur Bestimmung der Konstanten, relativistische Massenveränderlichkeit und noch einiges über Kathodenstrahlen, lichtelektrischen Effekt und elektrische Leitfähigkeit. Elektro- und Magnetooptik, sowie Dispersion werden nur insoweit berührt als sie zur Bestätigung der Lorentzschen Theorie beitragen.

In Form von 4 „Tafeln" — elektrische oder Hertzsche Wellen; infrarote, sichtbare und ultraviolette Wellen; Röntgenstrahlen; Radioaktivität — folgen dann übersichtliche Zusammenstellungen der einer jeden Art zukommenden Wellenlängen, jeweils versehen mit Hinweisen auf Entdecker und experimentelle Methoden. Den einzelnen Tafeln sind außerdem noch begleitende Texte beigefügt. So ist der Tafel I ein historischer Überblick beigegeben. Tafel II gehen 12 Textseiten voran, die — mit bekannten Figuren versehen — folgendes behandeln: Strahlung des schwarzen Körpers, Formel von Planck, photoelektrischer Effekt und Formel von Einstein, Rutherfordsches Atommodell, Unzulänglichkeit der klassischen Theorie, Bohrsches Atommodell und Planncksches Wirkungsquantum, Bohrsches Atommodell und Wasserstoffspektrum, Bohrsches Atommodell und Heliumfunkenlinien, spektroskopische Bestimmung der Konstanten, Sommerfelds Theorie der Feinstruktur für Wasserstoff und He^+. Die Wellenlängenübersicht selbst zerfällt in drei getrennte Darstellungen.

Tafel III behandelt Holweck- und Röntgenstrahlung. Neben dem historischen Text, der den einzelnen Wellenlängenschemen vorausgeht, findet sich ein eigener Abschnitt über Röntgenstrahlen und Bohrsches Atommodell sowie das Moseleysche Gesetz. Tafel IV bringt die wichtigsten Daten über γ-Strahlen.

Der letzte Abschnitt behandelt schließlich seit der ersten Auflage erschienene Arbeiten, und zwar — etwas ausführlicher als die gedrängte Darstellung der vorhergehenden Seiten — im wesentlichen die Untersuchungen von Nicholson und Tear im langwelligen Ultrarot aus dem Jahre 1923 und von Thibaud über γ-Strahlen aus dem Jahre 1925.

Im ganzen mag das Werk dem Ingenieur oder dem Arzt, der mit dem Gebiete nicht unmittelbar vertraut ist, seiner kurzen, präzisen Darstellung halber willkommen sein und auch dem Physiker kann wohl die übersichtliche Zusammenstellung zustatten kommen. K. L. Wolf, Berlin-Potsdam.

TUMMERS, J. H., **Die spezielle Relativitätstheorie und die Logik.** Maeseyck: J. Denis 1924. 15 S.

Das Relativitätsprinzip und das Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit seien bloße Postulate, nur an diesen Postulaten aber hänge die Relativität der Längen und Zeiten. Verf. — er ist Dozent für Philosophie der Naturwissenschaften an der Universität Nymegen — hält diese zweifellos richtigen Sätze für neu und für geeignet die Relativitätstheorie zu entwurzeln. Das wissenschaftliche Interesse würde jedoch genau dort anfangen, wo seine Untersuchung aufhört, nämlich bei den Fragen: Paßt das Gebäude der Relativitätstheorie auf die Empirie? Paßt etwa ein auf dem Postulat der absoluten Gleichzeitigkeit errichtetes Gebäude besser? Will irgendeine wissenschaftliche Theorie etwas anderes als auf Postulaten ein möglichst einfaches Gebäude errichten und dieses an der Erfahrung verifizieren? E. Zilsel, Wien.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Schwerebeobachtungen im Unterseeboot. (Dutch Pendulum Observations in the Atlantic and the Pacific, by Dr. J. J. A. Muller, Nature, Dezember 1926; Slingerwarnemingen op zee aan boord va Hr. Ms. onderzeeboot K XIII, Gravenhage, von demselben.) Dr. Vening Meinesz hat seineUntersuchungen über die Möglichkeit von Schwerebeobachtungen im Unterseeboot auf einer zweiten Reise fortgesetzt, welche von Helder ausgehend, über den Atlantischen Ozean durch den Panamakanal führend, Surabaya zum Ziel hatte. Zur Zeit der Erstattung des vorliegenden Berichtes war die Reise bis Honolulu gediehen, so daß die Ergebnisse bezüglich eines großen Teiles des Stillen Ozeans noch ausstehen. Wenn auch die definitive Reduktion der bereits vorliegenden Beobachtungen noch kleine Änderungen bringen wird, so stehen doch die Resultate im großen und ganzen fest, und es zeigt sich, daß sie eine gewisse Überraschung bringen. Es finden sich nämlich fast durchwegs auf dem Atlantischen Ozean und auch auf dem Stillen Ozean, soweit die Beobachtungen reichen, positive Anomalien bis zu + 0,040 cm/sec², und nur wenige Punkte sind normal. Kurz vor der Einfahrt in die Mona Passage bei Portoriko findet sich eine Schwerestörung von — 0,321 cm/sec². Man kann also nach diesen Beobachtungen nicht mehr sagen, daß die Schwere auf dem Ozean durchwegs normal ist, und es scheinen nicht unbeträchtliche Störungen der Isostasie vorzuliegen. Der Unterschied gegenüber den Messungen Heckers, welche in Übereinstimmung mit den Forderungen der isostatischen Lagerung — 0,020 ergeben hatten, bedarf noch der Aufklärung. A. Prey.

Magnetische Susceptibilität von Gasen. Vor einiger Zeit hat A. Glaser Versuche veröffentlicht, welche zu zeigen schienen, daß die magnetische spezifische Susceptibilität diamagnetischer Gase eine Funktion

der Dichte ist. Er fand eine Zunahme derselben mit abnehmendem Drucke bei konstant gehaltener Temperatur. Zur Messung wurde verwendet die klassische Faradaysche Methode, bei welcher die Kraft gemessen wird, welche auf ein Stäbchen ausgeübt wird, das in einem inhomogenen Magnetfeld sich befindet. Bei konstanter Stärke von Feld und Inhomogenität ist diese Kraft proportional der Differenz der Susceptibilitäten des Stäbchens und des umgebenden Mediums. In dem Institute von R. A. Millikan hat jetzt G. W. Hammar diese Versuche mit genau der gleichen Methode unter Verwendung eines diamagnetischen Glasstäbchens als Probekörper wiederholt (Proc. of the nat. acad. of sciences [U. S. A.] 12. Okt. 1926, S. 594), ohne dabei die genannte Anomalie zu finden. Nach seinen Versuchen ist die spezifische Susceptibilität von Wasserstoff, Stickstoff und Kohlensäure streng unabhängig vom Druck. Diese Versuche bestätigen somit das von E. Lehrer in seiner Tübinger Dissertation (Ann. d. Phys. **81**, 229. 1926) mit gänzlich anderer Methode erhaltene Resultat. — In einer Nachschrift teilt Hammar mit, daß er die Glasersche Kurve gefunden hat, nachdem feuchtes Gas eine Zeitlang in der Apparatur stand. Nach scharfem Trocknen der ganzen Apparatur mit Phosphorpentoxyd wurde wieder die Druckunabhängigkeit der Susceptibilität gefunden. Es liegt somit nahe, die Adsorption von einer Wasserhaut an dem Glasstäbchen für den Effekt verantwortlich zu machen, wodurch die Susceptibilität des Stäbchens bei variabler Adsorptionsmenge geändert wird. Eine solche Fehlerquelle bei der Messung des Susceptibilität sehr schwach magnetischer Stoffe ist aus der älteren Literatur ja bekannt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß auch das Verdampfen dieser Wasserschicht bei niederen Drucken bei der unsymmetrischen Lage des drehbaren Stäbchens zu den Polschuhen eine Zusatzkraft bringt, welche im gleichen Sinne wirken würde. W. Gerlach.

Die scheinbare Vergrößerung der Gestirne am Horizont. Zu dieser, auch in den Naturwissenschaften mehrfach behandelten Frage äußert sich A. Sonnefeld, Jena, in einem Artikel: Warum erscheinen Gestirne in Horizontalstellung größer als in Höhenstellung? (Central-Ztg. f. Optik u. Mechanik, Berlin, **47**, H. 21, S. 277 bis 280. 5. Nov. 1926.) Er verwirft die von Helmholtz gegebene physiologische Erklärung, meint vielmehr, daß man die Atmosphäre als Gaslinse auffassen müsse, durch die wir, wie durch eine Panoramalinse oder durch ein Leseglas von einer riesigen Brennweite, den Mond beobachten. In der Zenitrichtung ist die vergrößernde Wirkung der Linse am kleinsten, in der horizontalen Sehrichtung ist sie am größten. Er faßt die Ergebnisse seiner Untersuchungen dahin zusammen, daß die auffällige vergrößerte Erscheinung der Gestirne am Horizonte nicht hinreichend durch physiologische Gründe erklärt werden kann, auch nicht durch die Zusammenwirkung mehrerer physiologischer Effekte. Weder die Nähe des Erdhorizontes noch die Dunstschicht der Erdatmosphäre, die optischen Eigenschaften des menschlichen Auges, der Farbenkontrast und anderes mehr lassen auf eine so große Wirkung schließen. Lediglich die festgestellte Strahlenbrechung und geometrisch-optische Betrachtungen, denen zufolge die Beobachtung der Sternenwelt durch eine brechende Gasschicht erfolgt, deren vergrößernde Wirkung von der Sehrichtung in hohem Maße abhängig ist, können eine hinreichende Erklärung bieten. Durch mathematische oder besser geometrisch-optische Abstraktionen ist für den Mond am Horizont eine scheinbare Vergrößerung von rund 2,5 gegen den Mond im Meridian (höchster Stand) ermittelt worden, ein Wert, der mit den Beobachtungen in guter Übereinstimmung zu sein scheint. Als Stütze dieses geometrisch-optischen Erklärungsversuches wird die Tatsache angeführt, daß der teilweise beschattete, unsymmetrische Mond am Horizont stärker verzeichnet erscheint. O. B.

Astronomische Mitteilungen.

Neue Hypothesen über das Wesen des Siriusbegleiters. Der Begleiter des hellen Sirius hat schon seit, oder noch richtiger vor seiner optischen Entdeckung das Interesse der astronomischen Welt auf sich gelenkt. Es ist ja bekannt, daß Bessel seine damals noch dunkle Existenz aus unregelmäßigen Eigenbewegungen des Hauptsternes voraussagte und berechnete.

Seit seiner optischen Entdeckung im Jahre 1862 ist bei einer Periode von 50 Jahren mehr als ein Umlauf beobachtet worden, und die Bahnelemente sind sehr sicher bestimmt: Der Begleiter besitzt die gleiche Masse wie die Sonne, die Masse des Hauptsternes ist etwa doppelt so groß. Die Helligkeit des Begleiters beträgt 8.5 Größenklassen, während der Hauptstern in der Helligkeit — 1.6 erscheint, das entspricht etwa einem Helligkeitsverhältnis von 1 : 10000! Aufnahmen des Spektrums mit dem 2.40-Meter-Spiegel des Mount Wilson Observatoriums ergaben für den Begleiter den Spektraltyp F_0 (der Hauptstern hat das Spektrum A_0). Seinem Spektraltyp entsprechend hätte der Begleiter eine um 2000° höhere effektive Oberflächentemperatur wie die Sonne (also etwa 8000°) und müßte, bei gleicher Dimension wie diese, in der Helligkeit 0.8 erscheinen. Da der Stern wirklich die Größe 8.5 hat, müssen die Dimensionen wesentlich andere sein als bei der Sonne. Unter der Annahme einer Oberflächentemperatur von 8000°, in Verbindung mit der absoluten Größe 11.3 errechnete Eddington einen Radius von 19600 km, und es ergibt sich hiermit die ungeheure Dichte von 53000 (Wasser = 1). Das heißt, ein Kubikzentimeter der Materie des Siriusbegleiters wiegt mehr als 1 Zentner! Atomtheoretisch ist, wie Eddington in den Monthly Notices **84**, 5 zeigt, eine derartige, ja selbst noch höhere Dichte erklärlich (vgl. auch Fowler, Monthly Notices **87**, 2). Ein ganz anderer Weg zur Erklärung des Problems ist kürzlich von Herrn Anding in den Astronom. Nachr. (**229**, 69) ausführlich diskutiert worden. Es wird hier angenommen, daß der Siriusbegleiter mit einem Körper großer Masse ein Doppelsternsystem bildet. Zunächst sei eine photometrische Hypothese erwähnt, deren Lösung umgekehrt zu ungeheuer kleiner Dichte führt. Unter Zugrundelegung der von Lambert abgeleiteten Beleuchtungsgesetze wird die Lichtmenge berechnet, welche ein dunkler Körper an Stelle des Siriusbegleiters vom Sirius selbst erhält und der Erde zusendet: Danach müßte ein dunkler Körper vom Größenrang der Sonne uns als Stern $18^m.5$ erscheinen. Der Unterschied von 10 Größenklassen gegen die beobachtete Helligkeit (8.5) führt dann zwangsmäßig zu einem sehr großen Radius von 69 Millionen km und einer Dichte von fast ein Millionstel der Sonnendichte. Ein merkwürdiges Wolkengebilde, dessen Durchmesser größer ist als der der Merkurbahn, erfüllt bei dieser Hypothese die Beobachtungsbedingungen. Der Ausgangspunkt für diese Rechnungen ist

das LAMBERTsche Beleuchtungsgesetz. Schon innerhalb unseres Sonnensystems stehen die Beobachtungen der Planetenhelligkeiten keineswegs in befriedigender Übereinstimmung mit der Beleuchtungstheorie LAMBERTS, in Anbetracht der verschiedenen Spektren von Begleiter und Hauptstern erscheint die Anwendung der Theorie auf den Sirius recht hypothetisch.

Die weitere Hypothese des Verfassers beruht auf der Annahme, daß der Siriusbegleiter von einem Schwarm dunkler Körper umgeben sei. Um hier zunächst zu einer rein formellen Lösung zu gelangen, wird angenommen, daß das Mischungsverhältnis dieser Körper sich mit dem Verteilungsgesetz darstellen läßt, das sich für die Leuchtkraft der Sterne ergeben hat Stellt man sich vor, daß alle Sterne in dieselbe Entfernung versetzt werden, so nennt man die Helligkeit, welche die Sterne in dieser einheitlichen Entfernung haben, ihre Leuchtkraft (auch absolute Größe). Kennt man die Entfernung und scheinbare Helligkeit eines Sternes, so ergibt sich damit auch sogleich seine Leuchtkraft. Ordnet man eine Anzahl zur Verfügung stehender Sterne nach zwei Gesichtspunkten, und zwar einmal nach ihrer scheinbaren Helligkeit und dann nach ihrer Entfernung, so kann man durch Abzählen der so geordneten Sterne die Anzahl der Sterne einer bestimmten Leuchtkraft J finden. Man kann dann weiter den Prozentsatz aller Sterne angeben, deren Leuchtkraft zwischen den Grenzen J und $J + dJ$ liegt. Aus eigenen Untersuchungen hat der Verfasser für das Verteilungsgesetz der absoluten Leuchtkräfte folgenden Ausdruck gefunden: Die Anzahl der Sterne, deren Leuchtkraft zwischen den Werten J und $J + dJ$ liegt, ist $C d \sqrt{J} \cdot \sqrt{J^{-\iota}}$.

Durch Extrapolation wird dieses Gesetz auf die kleinsten Körper ausgedehnt, deren Oberflächenintensität = 0 ist, durch den Ansatz $J = J' R^3$, wird es zu einem Verteilungsgesetz der Radien gemacht. Man hat also für die Anzahl der kugelförmigen Körper in der Raumeinheit, deren Radien R zwischen R und $R + dR$ liegen, eine Gleichung von der Form:

$$dA = C R^{-\iota} dR$$

(hier ist J' konstant = 0 gesetzt).

Die Wolke dunkler Körper wird eine Extinktionswirkung hervorrufen, und zwar ist die lichtabfangende Fläche jedes Körpers proportional dem Quadrat von R; die Masse jedes Körpers in der Wolke wird R^3, wenn man annimmt, daß alle Körper Sonnendichte haben und die Masse in Sonneneinheiten gemessen wird. Die Bestimmung der Extinktions- und Massenwirkung aller Körper der Wolke führt nach Multiplikation mit der Anzahl aller Körper dA und Integration von $R = 0$ bis zu einem oberen Radius $R = R_a$ zu 2 Gleichungen, die in Verbindung mit den Beobachtungsbedingungen folgende Gestalt haben:

$$\begin{aligned} M_s' + {}^4/_3 \pi r^3 M_a &= 1 \\ G_s' + \qquad r E_a &= 8.5 . \end{aligned}$$

Das heißt: 1. die Massenwirkung des Siriusbegleiters (M_s') + Massenwirkung der Wolke (M_a) soll = 1 sein. 2. Die Helligkeit des Begleiters (G_s') soll in Verbindung mit der Extinktionswirkung der Wolke (E_a) die Größe 8.5 ergeben (r ist der Radius der Wolke). In M_a und E_a steckt noch als Unbekannte der Wert des Exponenten ι. Aus Untersuchungen an Fixsternen ergibt sich, daß ι zwischen 2 und 3 liegt. Für $\iota < 3$ verschwindet aber E_a. Da der Begleiter bei gleichen Dimensionen wie die Sonne uns als Stern $0^m.8$ erscheinen müßte, so ergibt der Unterschied von 7.7 Größenklassen gegen die Bedingung $G_s' = 8.5$ einen optisch bestimmten Radius für den Begleiter: $R_s' = 0.03$[1]) (R-Sonne = 1). Mit solchem Wert wird aber M_s' in der ersten Gleichung verschwindend klein gegenüber dem Wert von M_a. Die Massenwirkung beruht also allein auf der Wolke, die optische Wirkung allein auf dem Begleiter. Der Verfasser hat weiterhin untersucht, welchen relativen Massenbeitrag die Körper einer bestimmten Radienklasse liefern, wenn man vom Grenzradius R_a ausgehend die anderen Radien in einer geometrischen Reihe abstuft. Es repräsentiert dann für kleine ι der Grenzkörper allein die Hauptmasse. „Es ist dann," wie der Verfasser ausführt, „nur eine Vereinfachung, wenn wir den letzten Schritt tun und sagen: Der Siriusbegleiter bildet ein engeres Binarsystem mit einem dunklen Körper, der dieselbe Masse besitzt wie die Sonne".

Auf weitere Lösungen, die Rechnungen mit dem Exponenten $\iota > 3$ ergeben, soll hier nicht eingegangen werden. Es zeigt sich, daß die Lösung des Binarsystems schließlich nicht die einzigste ist.

Bei der Kritik dieser Darstellungen ist die Frage natürlich wichtig, ob ein aus Fixsternbeobachtungen gewonnenes rein statistisches Gesetz zur Extrapolation auf solche meteorartige Körper übertragen werden kann. Bei Untersuchungen über die Häufigkeit und Leuchtkraft der Sterne verschiedener Spektralklassen (Sitzungsber. d. Berlin. Akad. d. Wiss. **18**. 1914) kommt SCHWARZSCHILD zu dem Resultat, daß für Sterne geringerer Leuchtkraft die aus den Verteilungsfunktionen gefundenen Zahlen bald unbrauchbar werden, und deren Anwendung bei ganz dunklen Sternen eine bedeutungslose Extrapolation ist.

Unter Zugrundelegung des LAMBERTschen Beleuchtungsgesetzes berechnet Herr ANDING die Lichtmenge, die der dunkle Trabant vom relativ hellen Begleiter erhält. Bei einer gegenseitigen Entfernung = 1, 0.5 und 0.1 (Entfernung Erde—Sonne = 1 gesetzt), würde er in der Größenklasse 22, 20 resp. 17 erscheinen und wird uns daher wohl immer unsichtbar bleiben. Die Möglichkeit seine evtl. Existenz nachzuweisen ist uns durch mikrometrische Messungen des Siriusbegleiters und durch Beobachtungen einer evtl. Linienverschiebung desselben gegeben. Beide Körper, der hypothetische dunkle und der sichtbare Begleiter, müßten sich als „spektroskopische Doppelsterne" zu erkennen geben und die periodische Änderung der Radialgeschwindigkeit würde eine periodische Linienverschiebung im Spektrum bedingen. Eine Linienverschiebung im Spektrum des Begleiters hat ADAMS gefunden, sie hat als Radialgeschwindigkeit gedeutet den Betrag + 20 km pro Sekunde. Die Dimensionsangaben EDDINGTONS für den Siriusbegleiter erfordern nach der EINSTEINschen Theorie eine Rotverschiebung, die von derselben Größenordnung + 20 km ist.

Erwähnt sei zum Schluß, daß Herr MEYERMANN Schwankungen in der Bewegung des Siriusbegleiters aus einer einheitlichen Bearbeitung der Beobachtungen von 1862—1912 fand (Astronom. Nachr. **215**, 13). Die Abweichungen Beobachtung—Rechnung zeigen sowohl in den Distanzmessungen als auch in den Positionswinkeln Schwankungen von etwa 5.5 Jahren Periodenlänge, die sicherlich nicht zufälliger Natur sind und durch eine Verbesserung der Elemente nicht eliminiert werden. MEYERMANN meint, daß aus ihnen wohl auf das Vorhandensein eines dritten Körpers im Siriussystem zu schließen ist. ROLF MÜLLER.

[1]) Dies entspricht auch dem von EDDINGTON für den Radius angenommenen Wert von rund 20000 (in Kilometern).

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.